



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB  
IG/ IB/ IQ/ FACE-ECO/ CDS  
CURSO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**MANEJO DO FOGO EM FORMAÇÕES SAVÂNICAS PARA REDUÇÃO DE GASES  
DE EFEITO ESTUFA**

**Análise comparativa entre Austrália e Brasil**

HANNA RAMELLA SCHULER

BRASÍLIA – DF

DEZEMBRO / 2015

HANNA RAMELLA SCHULER

**MANEJO DO FOGO EM FORMAÇÕES SAVÂNICAS PARA REDUÇÃO DE GASES  
DE EFEITO ESTUFA**

**Análise comparativa entre Austrália e Brasil**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção de grau de bacharel em Ciências Ambientais, sob orientação da professora Dra. Mercedes Maria da Cunha Bustamante.

BRASÍLIA – DF

DEZEMBRO / 2015

SCHULER, HANNA RAMELLA.

Manejo do fogo em formações savânicas para redução de gases de efeito estufa:  
Análise comparativa entre Austrália e Brasil

Orientação: Dra. Mercedes Maria da Cunha Bustamante.

62 páginas.

Projeto final em ciências ambientais – Consórcio IG/ IB/ IQ/ FACE-ECO/ CDS  
– Universidade de Brasília.

Brasília – DF, 2015.

1. Savanas - 2. Manejo do Fogo - 3. Gases de Efeito Estufa - 4. Brasil - 5.  
Austrália

**MANEJO DO FOGO EM FORMAÇÕES SAVÂNICAS PARA REDUÇÃO DE GASES  
DE EFEITO ESTUFA**

**Análise comparativa entre Austrália e Brasil**

Hanna Ramella Schuler

Profa. Orientadora: Dra. Mercedes Maria da Cunha Bustamante

Brasília-DF, 9 de dezembro de 2015.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Mercedes Maria da Cunha Bustamante (Orientadora)

Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília

---

Profa. Dra. Isabel Belloni Schmidt (Avaliadora)

Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília

---

Profa. Dra. Gabriela Bielefeld Nardoto (Avaliadora)

Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha Orientadora, Professora Mercedes Maria da Cunha Bustamante, por todo suporte e paciência, sempre de forma muito gentil. Agradeço à Professora Isabel Belloni Schmidt por nortear meu caminho na escolha do tema, mesmo que do outro lado do mundo.

Agradeço à Universidade de Brasília por todos valiosos aprendizados e experiências de vida, e por me proporcionar conhecer tantas pessoas que para sempre levarei no coração. Agradeço à todos professores do curso de Ciências Ambientais, e em especial ao Professor Pedro Zuchi, pela valiosa dedicação ao curso e seus alunos.

Agradeço grandemente ao Nijen e à Paritosh, minhas pessoas preferidas nesse mundo.

E finalmente, agradeço ao nosso maravilhoso Cerrado. Que sua importância e beleza sejam reconhecidos mundialmente.

## RESUMO

Ecossistemas savânicos, em conceito amplo, cobrem aproximadamente 33% da superfície terrestre, provendo significativos serviços ecossistêmicos à população que ocupa estas regiões, em países como o Brasil e a Austrália. Savanas possuem sua evolução e dinâmica intimamente ligada ao fogo, com as frequentes queimadas constituindo significativa fonte de emissão de gases de efeito (GEE). Com isso, esforços vêm sendo empregados para a redução de tais emissões através do uso de queimadas controladas. Na Austrália, projetos estão associando o conhecimento de comunidades tradicionais com o científico, de modo a empregar um manejo do fogo que resulta em abatimentos significativos de emissões de GEE, os quais são certificados como compensação de carbono. No Brasil, a experiência com manejo do fogo ainda é muito incipiente, encontrando diversos entraves para sua implementação. Mesmo assim, projetos piloto com queimadas prescritas em escala de paisagem estão começando a se desenvolver no país, encontrando como principal referência a pioneira experiência australiana. Tendo em vista o atual e preocupante cenário de mudanças climáticas e a responsabilidade de cada país quanto à redução de suas emissões de gases de efeito estufa, o presente trabalho pretende, através de uma comparação entre a experiência australiana e brasileira no tema, identificar quais os principais desafios para o Brasil para a implementação do manejo do fogo para redução de GEE em savanas. Desta forma, pretende-se colaborar para a disseminação e desenvolvimento de tal abordagem no Brasil, considerando sua potencial importância para o cumprimento de compromissos futuros relacionados à mudanças climáticas, assim como à conservação do bioma Cerrado e seus serviços ecossistêmicos.

## **ABSTRACT**

Savanna ecosystems cover around 20% of the Earth's surface, and in countries such as Brazil and Australia they provide significant environmental services to inhabit of these areas. Savannas and its dynamics coevolved directly with fire, with the frequent burning representing significant source of greenhouse gases (GHG) emissions. Hence, efforts are being made to reduce such emissions through the use of prescribed burning. In Australia, there are projects which associate scientific knowledge and knowledge from traditional communities, as a way to implement a fire management that can result on significant abatement of GHG emissions, which are certified as carbon offsets. In Brazil, the practice of fire management is very incipient, with many barriers to its establishment. Nevertheless, pilot projects on prescribed burning on a landscape scale are starting to be developed in the country, with the Australian experience as a reference. Considering the current alarming scenario of climate change and the responsibility of each country for its GHG emissions, the present work intends, after a comparison between the Australian and Brazilian experiences on the subject, to identify which are the main challenges for the implementation of fire management for GHG emission reduction in savanna areas of Brazil. Thus, the goal is to promote and support the development of such approach in Brazil, considering its importance for accomplishment of future commitments related to climate change, as well as for the conservation of Cerrado biome and its ecosystem services.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2. ECOSSISTEMAS SAVÂNICOS: CARACTERIZAÇÃO DOS BIOMAS NA AUSTRÁLIA E BRASIL .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1. Savanas.....</b>	<b>11</b>
2.1.1. Savanas na Austrália .....	13
2.1.2. Savana brasileira – o Cerrado.....	15
<b>3. FOGO EM SAVANAS E A EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1. Manejo do Fogo em Savanas .....</b>	<b>22</b>
3.1.1. Queimadas Prescritas .....	23
<b>4. MANEJO DO FOGO PARA REDUÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA.....</b>	<b>25</b>
<b>4.1. Experiência da Austrália .....</b>	<b>25</b>
4.1.1. Projeto WALFA .....	25
<b>4.2. Experiência do Brasil.....</b>	<b>28</b>
4.2.1. Projeto Fogo .....	30
4.2.1. Projeto Cerrado-Jalapão .....	30
<b>5. FLUXOS DE CARBONO EM SAVANAS E “EQUAÇÃO NULA” .....</b>	<b>36</b>
<b>6. PRINCIPAIS DESAFIOS AO MANEJO DO FOGO PARA REDUÇÃO DE GEE NO BRASIL .....</b>	<b>47</b>
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>52</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>54</b>



## 1. INTRODUÇÃO

A importância do fogo como processo determinante na composição e distribuição dos ecossistemas tem sido melhor demonstrada por estudiosos a cada dia, assim como o seu papel no aparecimento das sociedades humanas. De acordo com Pausas e Keeley (2009), ainda em períodos pré-históricos, como o Paleolítico e o Mesolítico, há evidências do uso do fogo como ferramenta de manejo de paisagens. Com o passar do tempo, as muitas vantagens trazidas às sociedades humanas pelo uso do fogo acabaram intensificando esta relação, que associada à evolução de condições ambientais mais favoráveis a queimadas, resultou em drásticas alterações nos regimes naturais de fogo, frequentemente ocasionando mudanças na dinâmica e composição de ecossistemas.

Nas últimas décadas, as mudanças nos regimes de fogo atingiram taxas sem precedentes na história, principalmente como resultado do aumento populacional, fatores socioeconômicos e atuais práticas insustentáveis de uso e manejo do solo (PAUSAS; KEELEY, 2009). Tais fatores têm contribuído para queimadas mais frequentes e intensas, representando hoje maiores riscos às sociedades humanas e à manutenção da diversidade biológica de ecossistemas (PAUSAS; KEELEY, 2009).

Paralelamente, a interação entre a evolução de sociedades humanas e as mudanças climáticas, também possui uma história análoga à descrita acima. Durante a história da Terra, tanto fatores naturais quanto antrópicos influenciaram as alterações do clima. Entretanto, com o início da Era Industrial, atividades antrópicas têm influenciado o clima de forma drástica, principalmente pela emissão de grandes quantidades de gases na atmosfera, especialmente àqueles que contribuem para a intensificação do efeito estufa (US EPA, 2015). Este aumento substancial nas concentrações de gases de efeito estufa (GEE) está ocasionando o aumento da temperatura média da Terra, impondo enormes riscos aos sistemas terrestres e seus ciclos naturais, e conseqüentemente, ao suporte à todas formas de vida.

A interação do homem com o fogo e do homem com o clima não apenas apresenta histórias análogas (onde em ambos, a influência humana tem gerado consequências negativas a sua própria existência), mas também diretamente conectadas e interdependentes. Queima de biomassa constitui a segunda maior fonte de emissão de gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera, estando apenas atrás das emissões resultantes da queima de combustíveis fósseis (PANDEY; SAHU, 2014). Estimativas mostram que, de toda biomassa queimada no mundo, aproximadamente 90% possui origem antrópica (COLE, 2001). Estudos recentes têm

demonstrado que a queima de biomassa nos últimos 100 anos tem aumentado em todo mundo, e modelos computacionais indicam que o aumento da temperatura global poderá ocasionar queimadas mais intensas e frequentes, ocasionando ainda mais emissões de GEE (COLE, 2001).

Assim, com o produto de queimadas afetando o clima global, e com as mudanças climáticas representando potenciais alterações no comportamento e regimes de fogo, observa-se a importância desta interrelação na busca de soluções, de forma a evitar consequências catastróficas. Desta forma, o manejo do fogo é apresentado como potencial meio para atenuar tais efeitos, sendo hoje uma prática utilizada por diversos países.

Em savanas, o manejo do fogo já vem acontecendo em alguns países há décadas, principalmente com o objetivo de reduzir carga de combustível para evitar incêndios. Entretanto, o manejo do fogo em savanas com objetivo central de redução de gases de efeito estufa se mostra muito mais recente, com diversos países não reconhecendo a prática ainda hoje. A Austrália, como país mais desenvolvido entre os que possuem ecossistemas savânicos, é hoje referência na pesquisa e prática relacionada ao manejo do fogo em savanas, e também pioneiro em projetos de êxito na área de redução de GEE através de manejo do fogo.

No Brasil, queimadas prescritas em áreas de savana já acontecem há décadas (COUTINHO, 1977), mas em sua maioria para fins de pesquisa sobre impactos do fogo sobre fatores ecológicos do Cerrado, não ocorrendo em escala de paisagem. No entanto, com o objetivo específico de redução de GEE, a experiência do país ainda é muito incipiente. Neste contexto, o objetivo da presente pesquisa é investigar as principais ações e atuais práticas em andamento tanto em savanas da Austrália, quanto do Brasil, no tema de manejo do fogo para redução de GEE, de forma a possibilitar uma comparação entre as iniciativas dos dois países. Através da comparação, pretende-se identificar quais os principais desafios para o Brasil para a implementação do manejo do fogo para redução de GEE em savanas, considerando a experiência da Austrália como referência. Com isso, o estudo visa contribuir para a disseminação do tema no Brasil, de modo a estimular mais pesquisas e ações que auxiliem o pleno desenvolvimento desta importante abordagem para a conservação do Cerrado e de seus diversos serviços ecossistêmicos, assim como para a redução das emissões de gases de efeito estufa originadas no país (principalmente por mudanças no uso da terra e setor florestal), haja vista sua potencial contribuição às mudanças climáticas.

Para o alcance do objetivo proposto, primeiramente apresenta-se uma breve revisão bibliográfica sobre savanas no contexto da Austrália e Brasil (seção 2), partindo-se então para o tema do fogo em savanas e sua relação com a emissão de gases de efeito estufa (seção 3). Em seguida, um breve histórico das principais ações relacionadas ao tema nos dois países é apresentado, destacando as experiências mais relevantes até o momento em cada país (seção 4), como o atual Projeto Cerrado-Jalapão no Brasil. Na seção 5, apresenta-se de forma breve a discussão referente a orientação do IPCC (1996) quanto a quantificação de GEE resultantes de queimadas em savanas, a qual desconsidera emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por considerar que estas são totalmente reabsorvidas pela vegetação durante os períodos que sucedem a queima. Ainda na mesma seção, uma breve revisão bibliográfica de estudos realizados sobre fluxos de carbono em savanas do Brasil é apresentada, demonstrando qual a relação do fogo no bioma, e seu potencial de sumidouro de carbono. Finalmente, conclui-se com a apresentação dos principais desafios a ser enfrentados pelo Brasil para que ações de manejo do fogo para a redução de GEE sejam implementadas no Cerrado, de forma a alcançar experiências exitosas como a relatada pela Austrália.

## **2. ECOSSISTEMAS SAVÂNICOS: CARACTERIZAÇÃO DOS BIOMAS NA AUSTRÁLIA E BRASIL**

### **2.1. Savanas**

O termo Savana engloba diversas interpretações, o que, segundo Walter (2006), dificulta comparações do ecossistema entre os diferentes países, o que também influencia no desenho de políticas globais de conservação. Além das numerosas definições, o termo Savana também levanta controvérsias quanto sua origem (WALTER, 2006), sendo apontado por alguns autores como derivado de trabalhos do naturalista espanhol Oviedo y Valdez ainda no século XVI, especialmente para definir os “llanos arbolados” encontrados na Venezuela (IBGE, 2004). Com o passar do tempo, o termo continuou sendo utilizado por diferentes autores para designar uma ampla diversidade de habitats, característica essa que, de certo modo, acompanha o termo até hoje.

Entretanto, de forma simplificada, o conceito fisionômico de Savana hoje é acordado por considerável parcela de autores como a paisagem com um estrato graminoso contínuo ou descontínuo, com presença de árvores e arbustos espalhados, sendo estruturalmente intermediária entre campo e floresta (WALTER, 2006; AQUINO et al., 2009). Assim, ao considerar o amplo conceito citado acima, savanas podem ser encontradas em extensas áreas da África, América do Sul e Austrália, e em menor proporção em alguns países da América do Norte e Central, assim como na Índia (BUSTAMANTE et al., 2006). Com cerca de 15 milhões de km<sup>2</sup>, savanas representam o quarto maior bioma do mundo em área, o que corresponde a cerca de 33% da superfície da Terra, abrigando 20% da população planetária (WHITTAKER, 1975; MISTRY, 2000 apud AQUINO et al., 2009). Nos trópicos, savanas representam o segundo maior bioma em área (com florestas tropicais em primeiro lugar) (WALTER, 2006), o que demonstra sua importância mundial na manutenção da biodiversidade, ciclagem de nutrientes e água, entre muitos outros serviços ecossistêmicos (BERINGER et al., 2015) fundamentais à vida.

Diversas são as variáveis que explicam o ambiente dinâmico e heterogêneo das savanas, sendo as principais a disponibilidade de água e de nutrientes, também chamadas de determinantes de controle primário (GOEDERT et al., 2008), que resultam principalmente de fatores como o solo, o clima, a hidrologia e geomorfologia do local. Outros determinantes são apontados como responsáveis por modificações no ambiente, como é o caso do fogo,

herbivoria e intervenção humana (principalmente agricultura e pastejo) (GOEDERT et al., 2008). A importância de tais determinantes também pode ser observada na definição de Mistry (2000) para savanas, a qual indica como “ecossistemas dinâmicos determinados pela umidade e nutrientes disponíveis para as plantas, pelo fogo e herbivoria, a diferentes escalas espaciais e temporais.”

Entre as muitas características que potencialmente influenciam savanas, o fogo e sua influência sobre este ecossistema receberá atenção central neste trabalho. Caracterizadas como ecossistemas dependentes do fogo, savanas possuem grande parte de seus processos ecológicos e evolução histórica, assim como atual estrutura e composição, ligados à ação do fogo (ANDERSEN et al., 2003). Dentre os muitos fatores que determinaram esta íntima relação das savanas com o fogo, as condições climáticas estão, sem dúvida, entre os mais importantes (RUSSELL-SMITH et al. 2013a). De acordo com Williams e Cook (2001), a característica chave é a drástica variação sazonal experienciada em regiões de savana, geralmente apresentando duas estações do ano bem definidas. De um modo geral, a estação chuvosa estimula o crescimento intenso de gramíneas e outras plantas combustível, com a subsequente estação seca preparando as condições ideais para o fogo.

Mas mesmo com todas as condições favoráveis à ignição natural de incêndios, muitos autores indicam que uma maioria quase absoluta das queimadas em savana é resultado de atividades antrópicas (SEILER; CRUTZEN, 1980). Regiões de savana estão entre as mais densamente populadas do mundo, com um potencial de aumentar ainda mais (MISTRY, 2000). Estima-se que, anualmente, mais de 75% das savanas do mundo sofram queimadas (HAO et al., 1990 apud BERINGER et al., 2015). Com isso, aproximadamente 50% de toda biomassa queimada por ano no mundo advém de regiões de savana (HAO; LIU, 1994 apud BERINGER et al., 2015).

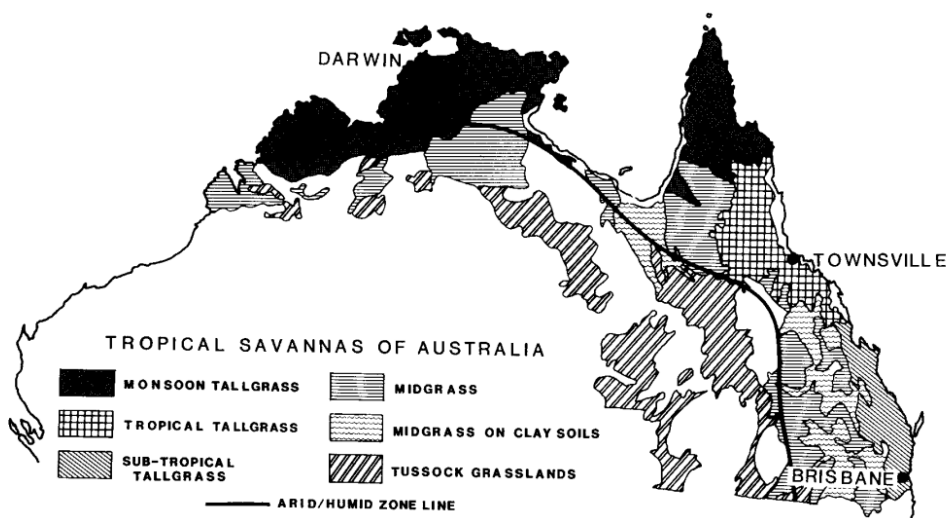
Devido ao longo histórico de ocupação humana em ambientes savânicos, há aqueles que consideram a hipótese da existência do bioma como resultado direto dos impactos causados pela presença humana, principalmente através do aumento de queimadas e atividades agropecuárias associadas, o que poderia ter ocasionado uma redução do estrato lenhoso em domínios vegetais diferentes da atual savana (WALTER, 2006). Atualmente, a maior parte das savanas do mundo já sofreram modificações como resultado, principalmente, da agricultura e pecuária de subsistência, a qual utiliza o fogo como ferramenta básica para renovação e manejo de pastagens (ANDERSEN et al., 2003). Associado ao contínuo aumento populacional, os fatores que ocasionam a fragmentação e destruição de savanas tendem a

aumentar, com crescentes problemas relacionados a desmatamento, incêndios e impactos das mudanças climáticas (MISTRY, 2000).

O tema do fogo tem atraído atenção considerável de muitos pesquisadores nos países que possuem este ecossistema, onde os efeitos de tal distúrbio na ecologia desses biomas têm sido extensivamente estudados (ANDERSEN et al., 2003).

### 2.1.1. Savanas na Austrália

Na Austrália, o bioma savânico ocupa quase um quarto da superfície terrestre, cobrindo uma área de aproximadamente 1.9 milhão de km<sup>2</sup>, predominantemente na região norte do país (RUSSELL-SMITH et al., 2013a). Como apresentado na figura 1, formações savânicas, em sentido amplo, se estendem desde regiões do nordeste tropical do país, até áreas no sudeste subtropical, apresentando assim imensas variações nos padrões climáticos e de solo, e consequentemente, na composição florística do bioma (MOTT, 1985).



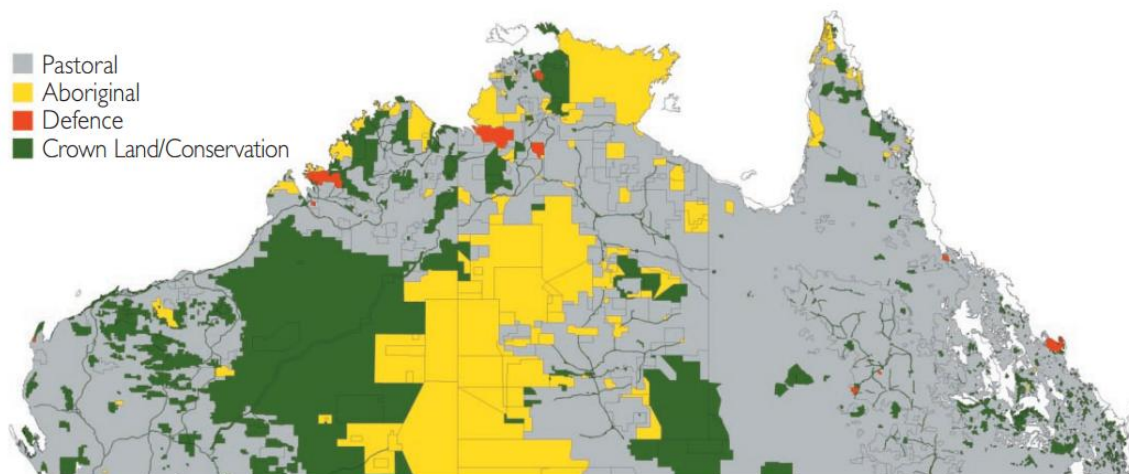
**Figura 1.** Distribuição de formações savânicas considerando sentido amplo do termo.

**Fonte:** Extraído de Mott et al. (1985).

Da mesma forma que savanas localizadas em outros países, a vegetação situada no norte da Austrália apresenta evolução diretamente relacionada com o fogo, o que resultou na atual estrutura, distribuição e composição heterogenia das savanas australianas (BERINGER et al., 2015). De acordo com Mott et al. (1985), o fogo tem sido parte integrante do ecossistema há muito tempo, com um aumento na recorrência de queimadas após a chegada dos povos indígenas, há aproximadamente 30.000 anos atrás. Segundo o autor, os indígenas australianos não utilizavam a prática de corte e queima, fator este que influenciou e ainda hoje influencia na formação de grande parte das savanas de outros países.

Quando comparado com savanas de outros países, o uso intensivo do bioma na Austrália apresenta dificuldades, especialmente por fatores climáticos, como a seca muito prolongada seguida por estação chuvosa marcada por fortes inundações (GOEDERT et al., 2008). Com isso, diferentemente de outros países, savanas na Austrália são mais marcadas por uso extensivo do que intensivo, havendo, por exemplo, grandes áreas de pastagens com baixa densidade de animais, assim como um vazio demográfico, sendo um bioma principalmente ocupado por comunidades aborígenes (GOEDERT et al., 2008).

Entretanto, mesmo que de forma menos intensiva relativamente a outros continentes, o ecossistema na Austrália também está sofrendo mudanças ecológicas, principalmente devido às alterações climáticas (ambientes mais áridos) e o aumento na frequência de queimadas (MOTT et al., 1985). Como fator natural, uma das características que mais influencia a dinâmica e comportamento de queimadas no bioma é o rápido início da estação seca, que leva a drásticos declínios na umidade do ar e do solo, resultando em queimadas frequentes e extensas (BRADSTOCK et al., 2002). No fator antrópico, a intensificação das queimadas muito se explica pela extensa área que é ocupada por atividades de pastagem, consistindo na principal atividade da região (Figura 2). Além de pastagem, atividades de mineração, conservação, propriedades indígenas, turismo e defesa também dividem o uso da terra na região savânica da Austrália (Figura 2) (BRADSTOCK et al., 2002).

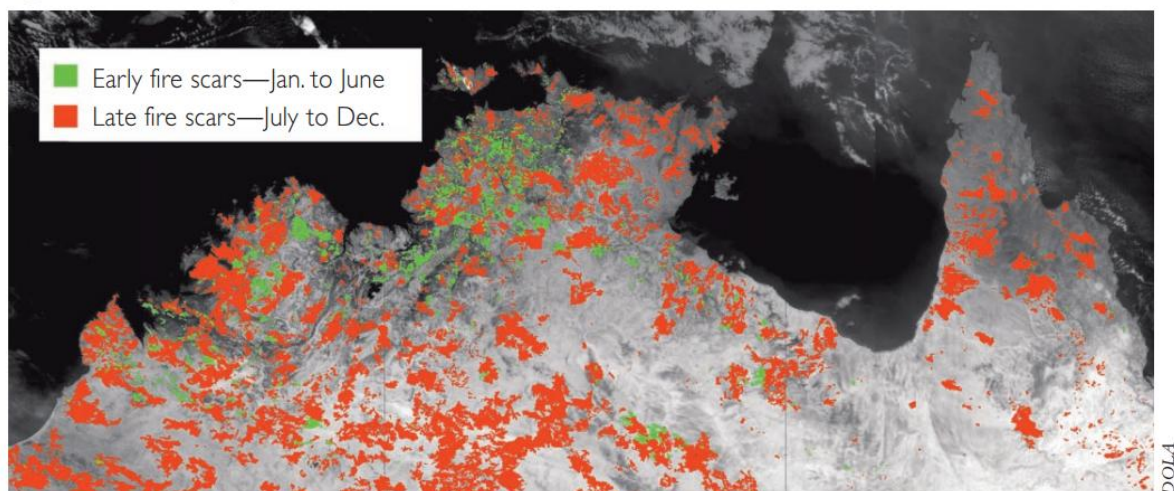


**Figura 2.** Uso da terra no Norte da Austrália.

**Fonte:** DYER et al. (2002).

Como consequência do intenso uso do fogo para diferentes objetivos, grandes proporções das savanas no norte da Austrália queimam anualmente ou a cada dois anos, geralmente em queimadas tardias na estação seca, como demonstrado pela figura 3. Queimadas tardias possuem potencial de causar graves danos às espécies sensíveis ao fogo;

assim como potenciais custos e riscos às atividades humanas da região, além de representar fonte expressiva de GEE (Dyer et al., 2002).



**Figura 3.** Mapa de cicatrizes de fogo em Northern Australia, 2000.

**Fonte:** Extraído de Dyer et al. (2002).

### 2.1.2. *Savana brasileira – o Cerrado*



Com características similares às savanas da Austrália, o Brasil possui como segundo maior bioma do país em extensão e biodiversidade (SANO et al., 2008), o Cerrado,



ecossistema savânico localizado principalmente na região do Planalto Central Brasileiro (RIBEIRO; WALTER, 1998). Com uma área de 204,7 milhões de hectares, a savana brasileira ocupa aproximadamente 24% do território nacional (IBGE, 2004). Conforme mostrado na Figura 4, o Cerrado abrange a quase totalidade do estado de Tocantins, Goiás e do Distrito Federal, ocupando porcentagem variável de outros oito estados (SANO et al., 2008).

**Figura 4.** Distribuição espacial do bioma cerrado no território brasileiro.

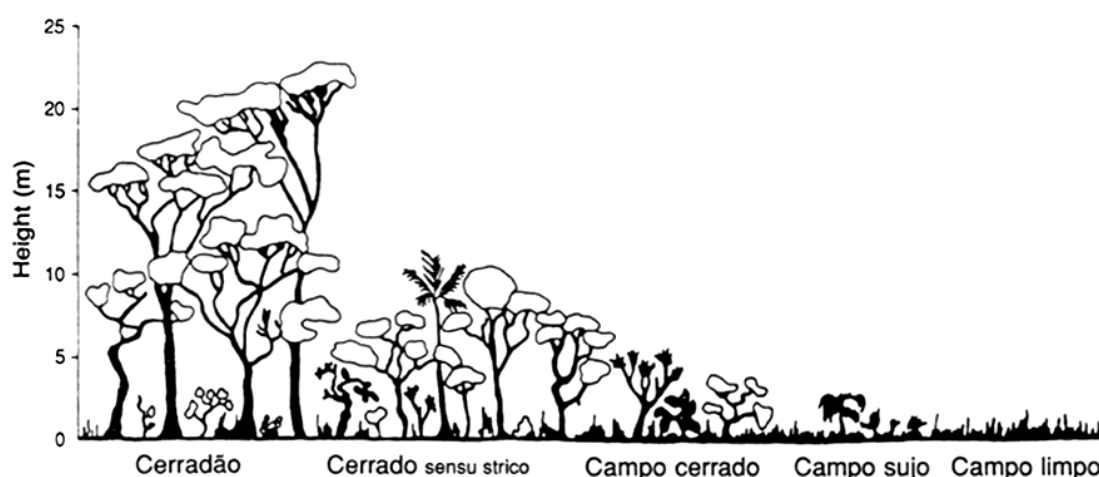
**Fonte:** Extraído de SANO et al. 2008.

O Cerrado é considerado um hotspot mundial (MYERS et al., 2000), por se tratar da savana tropical mais biodiversa do mundo e, ao mesmo tempo, representar um dos ecossistemas mais ameaçados do planeta. Estima-se que o bioma possua aproximadamente 10.000 espécies vegetais, onde 4.400 são endêmicas, representando 1,5% das plantas do mundo (MYERS et al., 2000).

Assim como a savana australiana, “o Cerrado caracteriza-se como uma formação do tipo savana tropical”, marcada por forte sazonalidade (SANO et al., 2008), e podendo apresentar características ecológicas e fisionômicas correspondentes ao encontrado na vegetação da Austrália (AQUINO et al., 2009). O bioma apresenta grande variabilidade estrutural, evidenciada pelas suas diferentes formações, com porte e densidade muito variáveis (IBGE, 2004). Entretanto, de forma simplificada, o Cerrado apresenta dois estratos

principais distintos e codominantes, o arbóreo e o graminoso (IBGE, 2004). Boa parte das árvores do Cerrado possuem um porte que varia de pequeno a médio, com raízes profundas, troncos e galhos retorcidos, com espessa casca. Já o estrato graminoso apresenta outras adaptações evolutivas, como o dessecamento de sua porção aérea no período mais seco, mantendo vivo apenas os brotos que ficam protegidos ao nível do solo (IBGE, 2004).

Estes estratos dominam as regiões do Cerrado de forma muito heterogênea, o que determina um gradiente de fitofisionomias, que englobam formações campestres (como campo cerrado, campo sujo e campo limpo), savânicas (cerrado sentido restrito) e florestais (mata ciliar, mata de galeria, cerradão e mata seca) (RIBEIRO; WALTER, 1998). Existem diversas formas de descrever e classificar as diferentes fisionomias do Cerrado, porém, a vegetação é normalmente descrita em cinco tipos principais, como apresentado na figura 5 (MIRANDA et al., 2009).



**Figura 5.** Formas fisionômicas do Cerrado, com gradiente de Campo Limpo a Cerradão.

**Fonte:** Extraído de Miranda et al. (1996).

Segundo Classificação proposta por Ribeiro e Walter (1998) para fisionomias do Cerrado:

- Cerradão constitui em formação florestal com dossel predominantemente contínuo e cobertura arbórea que pode oscilar de 50% a 90%, apresentando altura média que varia de 8 a 15 metros. Abaixo do dossel, apresenta a formação de estratos arbustivos e herbáceo diferenciados.
- Cerrado sensu stricto caracteriza-se pela presença dos estratos arbóreo e arbustivo-herbáceo definidos. Apresenta dossel descontínuo de altura média de 3 a 6 metros, com cobertura arbórea variando de 20 a 50%.

- Campo cerrado é determinado por vegetação arbóreo-arbustiva, com cobertura arbórea que varia entre 5 e 20%, e altura média de 2 a 3 metros.
- Campo-sujo caracteriza-se por ser uma formação campestre exclusivamente herbáceo-arbustiva, com arbustos e subarbustos esparsos que, muitas vezes, são constituídas por indivíduos vegetais menos desenvolvidos do Cerrado sensu stricto. O estrato arbóreo representa menos que 5% da fisionomia, com altura média de 2 metros.
- Campo Limpo é uma fitofisionomia predominantemente herbácea, com total ausência de árvores e raros arbustos.

A região ocupada pelo Cerrado possui clima marcadamente sazonal, com período seco que pode durar de abril até setembro em determinadas regiões, seguido por período chuvoso que dura, em média, de outubro até março (KLINK; MACHADO, 2005). O Cerrado encontra-se em regiões com precipitações médias que variam de 750mm a 2000mm, com temperatura anual variando entre 20°C e 26°C em média (EITEN, 1972).

O avanço das atividades humanas sobre o Cerrado se deu de forma mais intensa principalmente a partir da década de 1970, atingindo taxas de desmatamento ainda maiores que as registradas na Amazônia brasileira (KLINK; MACHADO, 2005). Os principais usos da terra no Cerrado são as pastagens, que ocupam mais de 40% do bioma, e as monoculturas (principalmente soja), com uma área aproximada de 100.000km<sup>2</sup> (KLINK; MACHADO, 2005). Considerado como a última fronteira agrícola do mundo (BORLAUG, 2002 apud KLINK; MACHADO, 2005), o Cerrado vem sofrendo imensos impactos ambientais com a acelerada e contínua expansão das atividades humanas, com mudanças na cobertura vegetal resultando em grave degradação dos recursos hídricos e o solo, o que representa ameaças à biodiversidade (KLINK; MACHADO, 2005).

Atualmente, estima-se que 55% da área original de Cerrado já sofreu desmatamento ou outra mudança decorrente da ação humana (Machado et al., 2004 apud KLINK; MACHADO, 2005). Entre os fatores que influenciam estes assustadores índices de destruição, está a insuficiente previsão legal da conservação do bioma nas legislações do país, que possui apenas 2,2% de sua área protegida por Unidades de Conservação de Proteção Integral, assim como exigência de apenas 20% da área de propriedades rurais para reserva legal (KLINK; MACHADO, 2005). Uma maior preocupação com a conservação do bioma pela sociedade e diferentes esferas do governo se iniciou apenas na década de 90, como resultado de uma maior consciência sobre os impactos da ocupação desordenada e os frequentes incêndios destrutivos (IBGE, 2004).

O fogo no Cerrado, assim com para a maioria das savanas do mundo, constitui um processo que acompanha a dinâmica natural da vegetação, com sua ocorrência (tanto natural quanto antrópica) datando de milhares de anos atrás (MIRANDA et al., 2002). De forma similar à savana da Austrália, os indígenas que ocupavam a região do Cerrado também utilizavam fogo como ferramenta para diversos propósitos, como a caça, indução de floração e produção de frutos, controle de espécies e até mesmo em conflitos entre tribos (COUTINHO 1990a; MISTRY 1998 apud OLIVEIRA; MARQUIS 2002). De acordo com Eiten (1972), a ocupação do Cerrado por povos indígenas ocasionou um aumento na frequência de queimadas, fator este considerado fundamental no desenvolvimento do ecossistema como conhecemos hoje.

Atualmente, o homem moderno continua a utilizar o fogo como principal ferramenta de manejo do Cerrado, sendo amplamente empregado para estimular a rebrota de gramíneas para a pecuária (SANTOS et al., 2014). Tal uso tem se demonstrado muito mais intensivo do que em toda sua história, com a ocupação acelerada do bioma ocasionando alterações nos regimes de fogo. (MIRANDA et al., 2002). Embora o Cerrado seja um ecossistema historicamente adaptado ao fogo, o intenso uso moderno desta barata ferramenta tem representado graves impactos ao ecossistema e as sociedades que nele habitam, principalmente devido a ocorrência de queimadas descontroladas durante a estação seca. Além dos potenciais impactos à fauna e a flora do bioma, queimadas sucessivas e de alta intensidade podem ocasionar alterações nos ciclos biogeoquímicos, potencialmente representando diferenças nos estoques de carbono e na emissão de gases de efeito estufa (SANTOS et al., 2014).

### **3. FOGO EM SAVANAS E A EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

Não restam dúvidas quanto a importância do fogo na formação e manutenção da diversidade biológica de ecossistemas, onde “aproximadamente 50% dos habitats terrestres do mundo dependem do fogo para manutenção do seu equilíbrio ecológico, como é o caso do bioma Savana” (SANTOS et al., 2014). Entretanto, ao longo da história da humanidade, padrões deste distúrbio natural vem sendo exponencialmente modificados, com as alterações nos regimes de fogo sendo resultado direto da intensa ação humana sobre os ecossistemas, principalmente através de fatores como desmatamento, agricultura, exclusão e supressão de fogo, espécies invasoras e desenvolvimento rural e urbano (SHLISKY, 2009). Outro grande fator que influencia a atual alteração dos regimes de fogo são as mudanças climáticas, havendo diversas projeções que indicam alterações em padrões climáticos que podem interferir diretamente na dinâmica do fogo (MARENGO, 2009). Atualmente, mais de 60% dos habitats terrestres do mundo têm seus regimes de fogo alterados (SHLISKY, 2009).

Além dos potenciais impactos negativos à ecologia dos ecossistemas, a alteração dos regimes de fogo pode representar um incremento significativo nas emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera. Atualmente, a queima e decomposição de biomassa vegetal é apontada como a segunda maior fonte antropogênica de emissão de gases na atmosfera, com a queima de combustíveis fósseis ainda representando a principal fonte (SOLOMON, 2007). A queima de biomassa tornou-se fonte mais significativa principalmente devido a ampliação ou abertura de novas fronteiras agrícolas no início do século XX, muitas das quais localizadas em regiões de savana tropical na Ásia, África e América do Sul (BARBOSA; FEARNSIDE, 1999).

A composição dos gases resultantes da queima de biomassa pode variar dependendo das condições da queima e do tipo de combustível, o que pode depender de parâmetros como teor de umidade, condições de vento, tipo de combustão, composição e carga de combustível, entre outros (AZEVEDO et al. 2005). Para queimadas em savanas, além do dióxido de carbono, que é liberado em grandes quantidades, têm-se também a emissão de gases-traço, como o metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) e hidrocarbonos não metanos (HCNM), havendo também a liberação de grandes quantidades de material particulado (BARBOSA; FEARNSIDE, 1999). Além das emissões decorrentes da combustão de biomassa vegetal, os incêndios também provocam um

aumento na temperatura do solo, sendo mais um fator que contribui para a perda de carbono em um curto período de tempo nesses ecossistemas (KRUG et al., 2002). Tais gases exercem grande influência no balanço energético da Terra, devido a sua capacidade de absorver calor radiante na forma de raios infra-vermelhos, causando um potencial incremento no efeito estufa natural do planeta (BARBOSA; FEARNSTIDE, 1999).

No Brasil, o setor energético não representa a maior fonte de emissão de gases, como em boa parte dos países desenvolvidos, visto que mais de 60% da matriz energética do país é suprida por fontes renováveis, especialmente por usinas hidrelétricas (KRUG et al., 2002). Segundo o Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (2002), o setor “Mudança no Uso da Terra e Florestas” é responsável pela maior fonte de emissão de CO<sub>2</sub> no país, contribuindo com mais de 75% das emissões anuais de dióxido de carbono.

No ano de 1990, o Cerrado emitiu cerca de 190 milhões de toneladas de dióxido de carbono para atmosfera. Já no ano de 2005, o bioma foi responsável pela emissão de aproximadamente 380 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, o que demonstra um considerável aumento, onde queimadas contribuíram de forma significativa (BRASIL, 2009). Entre 2003 e 2005, cerca de 25% das emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas às mudanças no uso do solo no Brasil foram provenientes do bioma Cerrado, com queimadas e desmatamento sendo apontados como principal fonte (BRASIL, 2009).

De modo geral, para estimar tais emissões faz-se necessário, primeiramente, estimar a área queimada, assim como identificar qual o tipo fisionômico da vegetação afetado pelo fogo. A partir de tais dados, pode-se estimar as emissões associadas a cada fisionomia, que geram diferentes proporções dos GEE resultantes da queimada. Tal proporção também varia dependendo do quão completo se deu o processo de combustão, sendo importante obter dados relacionados a eficiência de gaseificação (CARVALHO JR. et al., 1995 apud KRUG et al., 2006). Para o bioma Amazônia, tais estimativas já vêm sendo realizadas a mais tempo, entretanto, o conhecimento associado às emissões decorrentes do fogo no Cerrado ainda se mostra incipiente, com a heterogeneidade da vegetação e os diversos usos da terra representando um desafio adicional (HOFFMANN, 2012b). O aprimoramento de metodologias que permitam estimar de forma confiável as emissões de GEE provenientes da queima de biomassa no Cerrado são fundamentais na determinação do impacto que este bioma exerce sobre o clima, assim como para auxiliar no desenho de políticas públicas e projetos com objetivo de reduzir e controlar tais emissões.

A fim de reduzir os impactos negativos das extensas queimadas de ecossistemas savânicos, durante muito tempo utilizou-se políticas orientadas na prevenção e supressão reativa de queimadas e incêndios, o que com frequência gerava grande desperdício de recursos e graves acidentes durante as operações de combate ao fogo. Com o passar do tempo, começou-se a perceber que tal abordagem não era eficaz, ocasionando, por vezes, um agravamento da situação, com a exclusão do fogo produzindo um maior acúmulo de biomassa, o que resultava em incêndios ainda mais descontrolados. Ao mesmo tempo, o desenvolvimento de pesquisas sobre o papel ecológico do fogo chamou atenção para a importância deste processo natural sobre diversos fatores do Cerrado, como indução de floração, quebra de dormência e dispersão de sementes, ciclagem de nutrientes entre muitos outros (DIAS; MIRANDA, 2010), alertando para a necessidade de se repensar as existentes políticas de supressão. Com isso, pôde-se perceber, principalmente nas últimas décadas, um aumento na conscientização dos gestores de savana sobre a necessidade de se buscar um manejo que considerasse tanto as questões prejudiciais quanto as benéficas do fogo no bioma, de forma a obter um maior controle das queimadas e, ao mesmo tempo, a manutenção das funções ecológicas e sociais do Cerrado.

### **3.1. Manejo do Fogo em Savanas**

A discussão sobre o uso do fogo e seus impactos positivos em ecossistemas como savanas é muito recente, mas em diversos países, tal entendimento já desencadeou mudanças relacionadas a percepção e as abordagens empregadas no manejo do ecossistema. Nas últimas décadas, um crescente número de países do mundo vem implementando uma nova abordagem para a questão do fogo em savanas, conhecida como Manejo Integrado do Fogo (MIF). Segundo BEATTY (2013a), o MIF se baseia em:

(...) uma estrutura holística que permite levar em conta a ecologia, os múltiplos objetivos da gestão territorial e as abordagens tecnológicas para o Manejo do Fogo, de forma a equilibrar os riscos de incêndios prejudiciais com os benefícios ecológicos e econômicos que as queimadas propiciam em um determinado contexto (BEATTY, 2013, p.13).

Basicamente, o Manejo Integrado do Fogo consiste em cinco elementos principais: Coleta e análise de dados (Pesquisa), Prevenção e Educação (Redução do Risco), Preparação (Prontidão) e Supressão (Resposta), e finalmente Restauração (através de reabilitação) (HOFFMANN, 2012a). Desta forma, o MIF engloba uma gama de atividades e temas relacionados a aspectos ambientais, sociais, econômicos e político-administrativos, demandando o envolvimento de diversos atores em sua implementação.

Na busca pelo equilíbrio entre os aspectos benéficos e prejudiciais do fogo, o MIF se baseia não somente no manejo e supressão de incêndios, como também na promoção de queimadas controladas que representem impactos positivos aos diferentes objetivos de manejo, também conhecidas como queimadas prescritas.

### *3.1.1. Queimadas Prescritas*

Em países como Estados Unidos, Canadá e Austrália, queimadas prescritas vêm sendo realizadas há décadas, principalmente com o objetivo de reduzir combustível em áreas de floresta temperada, para evitar os catastróficos incêndios experienciados nessas regiões (SEILER; CRUTZEN, 1980). Além da redução de incêndios e riscos associados, queimadas prescritas também são utilizadas para outros objetivos, como o manejo de pragas, proteção e manutenção de habitats, restauração ecológica, redução de gases de efeito estufa, entre outros (WILLIAMS; COOK, 2001).

Em savanas, o uso de queimadas prescritas é muito mais recente, havendo poucas experiências em escala de paisagem para muitos países, como o Brasil. Com o objetivo de reduzir os riscos e extensão dos incêndios que ocorrem em sua maioria no final da estação seca, queimadas prescritas em savanas são estrategicamente executadas no início da estação seca (BEATTY, 2013a). Visto que as vastas e intensas queimadas do final da estação seca representam impactos negativos ao ecossistema e sua provisão de serviços, assim como uma maior emissão de gases do efeito estufa, uma mudança estratégica no regime predominante de fogo pode auxiliar no alcance de objetivos diversos referente ao manejo de paisagens. Segundo BEATTY, 2013a, queimadas prescritas “reduzem e fragmentam, de forma importante, a quantidade de combustível, criando retalhos de paisagem queimada e não queimada”, criando assim um mosaico na paisagem que diminui a ocorrência e extensão das queimadas do final da estação seca e maximiza a diversidade de habitats. Esta mudança de regime ocasiona uma redução na área total queimada anualmente, assim como a



predominância de fogos de baixa intensidade, reduzindo também a necessidade de perigosas operações de combate ao fogo. Tais queimadas prescritas podem ser implementadas tanto em escala de paisagem, para redução de grandes incêndios, quanto em pequenas áreas estratégicas, para a proteção, por exemplo, de fisionomias sensíveis (como matas ciliares) ou infraestruturas (como moradias, cercas, instalações de serviços públicos).

Para a segura execução de queimadas prescritas, deve-se estudar previamente as características locais do terreno, as características da biomassa combustível e as condições climáticas (como vento, umidade e temperatura) mais apropriadas para a eficiente obtenção dos objetivos propostos. Fatores como localização, época de queima e métodos utilizados para atear e controlar o fogo devem ser determinados previamente, podendo-se utilizar tanto conhecimentos técnicos, quanto conhecimentos tradicionais das comunidades que habitam a região (BEATTY, 2013a). O engajamento de comunidades tradicionais em operações de queimadas prescritas tem se mostrado muito benéfico para o alcance dos objetivos propostos, o que é demonstrado pela experiência de alguns países com o chamado Manejo do Fogo de Base Comunitária (do inglês Community-based Fire management - CBFM).

Além dos benefícios do uso de queimadas prescritas já citados acima, muitos outros são apontados, entre os quais a melhoria no manejo do solo, na manutenção das funções e serviços ecossistêmicos, nos meios de subsistência das comunidades tradicionais, e a redução de gases de efeito estufa. A redução da extensão, frequência e intensidade de queimadas em savanas pode representar uma diminuição substancial nas emissões de GEE provenientes da queima de biomassa. A baixa intensidade de queimadas realizadas no início da estação seca ocasiona um menor consumo total da biomassa combustível, que associado a menor área queimada devido à paisagem heterogênea (mosaico de queimadas) resulta em reduções significativas na emissão de GEE por unidade de área queimada. Adicionalmente, a alteração do regime de fogo para predominantemente no início da estação seca também pode exercer influência na dinâmica do estoque de carbono em savanas. Queimadas menos intensas e frequentes podem ocasionar significativo aumento na densidade de espécies lenhosas, as quais representam importante sumidouro de carbono, potencialmente maximizando o sequestro de carbono pela vegetação. Tais vantagens também são apontadas em relação a capacidade de carga de carbono no solo, que também pode ser maximizada pelo aumento da funcionalidade do ecossistema associado à mudança no regime de fogo (BEATTY, 2013a).

## **4. MANEJO DO FOGO PARA REDUÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

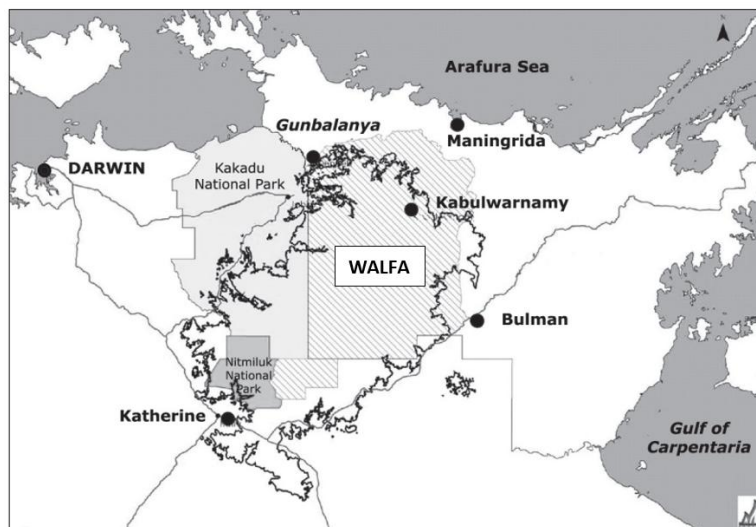
### **4.1. Experiência da Austrália**

O manejo do fogo em savanas da Austrália data de dezenas de milhares de anos atrás, com os povos indígenas da região utilizando para caça, cozimento, manejo do habitat, entre diversos outros propósitos. Antes da colonização europeia, os indígenas utilizavam um sistema de queimas em mosaico, onde pequenas porções da paisagem eram queimadas ao longo do ano, em sua maioria no início ou metade da estação seca (Russell-Smith et al., 2003). Estas práticas tradicionais de manejo (marcadas por queimadas menores e de baixa intensidade) possibilitavam a manutenção de ambientes mais diversos, especialmente quando comparado às extensas queimadas que hoje predominam no norte australiano, em sua maioria tardias e em regimes muito mais frequentes do que o naturalmente suportado pelo bioma.

Desde o estabelecimento Europeu, pôde-se observar grandes mudanças nos regimes de fogo, principalmente devido às políticas de prevenção e controle do fogo, que geraram acúmulo de biomassa e incêndios muito mais severos (Russell-Smith et al. 2013b). Hoje, o grande desafio dos proprietários de terra e moradores da região diz respeito ao estabelecimento de um regime de fogo que, ao mesmo tempo, mantenha a produtividade da terra, não represente riscos à vida e aos estabelecimentos humanos; mantenha a diversidade ecológica do ecossistema e, como uma demanda mais moderna, reduza os gases de efeito estufa. Na busca da conciliação de tantos objetivos, percebeu-se então o potencial das tradicionais práticas empregadas pelos indígenas da região no manejo do fogo, o que abriu horizontes para o desenvolvimento de iniciativas como o pioneiro WALFA Project.

#### ***4.1.1. Projeto WALFA***

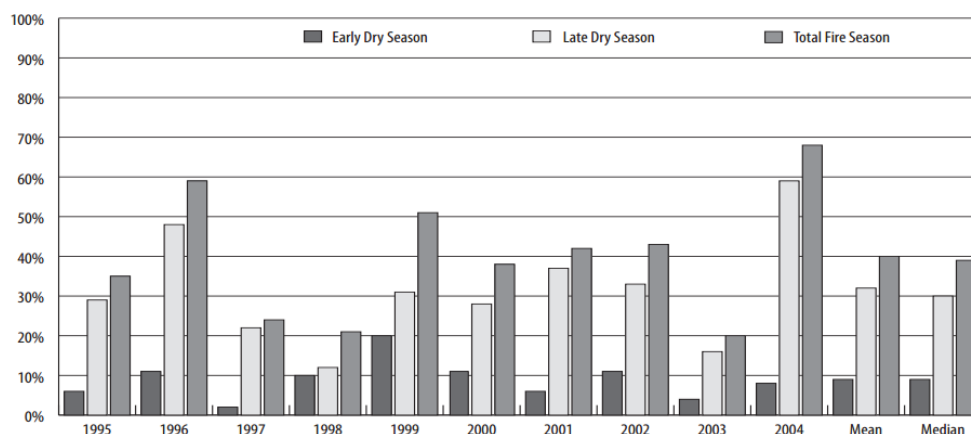
Desde 1996, têm-se reunido esforços para o desenvolvimento de um projeto na região cultural e naturalmente rica de Western Arnhem Land, localizada ao norte da Austrália, próximo ao maior e mais antigo parque da Austrália, o Kakadu National Park (figura 6).



**Figura 6.** Mapa da área abrangida pelo Projeto WALFA em Western Arnhem Land.

**Fonte:** Extraído de Aboriginal & Torres Strait Islander Social Justice Commissioner (2008, p. 258). Fonte original: Russell-Smith (2007).

Inicialmente, um Projeto denominado Arnhem Land Fire Abatement (ALFA) foi desenvolvido, com o objetivo de lidar com os problemas relacionados ao manejo do fogo em territórios aborígenas, que sofriam dos impactos decorrentes das queimadas tardias e extensas, com aproximadamente 40% de sua área sendo queimada anualmente (principalmente em queimadas tardias e de origem antrópica, ver figura 7) (Aboriginal & Torres Strait Islander Social Justice Commissioner, 2008).



**Figura 7.** Proporção da área do Projeto WALFA afetada por fogo em cada estação.

**Fonte:** Extraído de Aboriginal & Torres Strait Islander Social Justice Commissioner (2008, p. 261). Original Source: Russell-Smith (2007).

Anos depois, estudiosos envolvidos no Projeto começaram a perceber o potencial do manejo do fogo conduzido pelo Projeto ALFA no abatimento de emissões de gases de efeito estufa, iniciando assim o desenho de um Projeto que pudesse considerar tais reduções de emissão advindas do manejo de fogo realizado, além de trazer benefícios aos prestadores de

tal serviço (os povos indígenas do norte australiano) e à biodiversidade da região (PRICE, et al., 2012).

Iniciado em 2005, o Projeto então nomeado Western Arnhem Land Fire Abatement (WALFA) pretendia beneficiar a funcionalidade do ecossistema e reduzir as extensas queimadas experienciadas no interior da reserva aborígina através de Manejo do Fogo, ao mesmo tempo reduzindo as emissões de GEE (BEATTY, 2013b).

O Projeto foi consolidado através de um acordo firmado entre a companhia de energia ConocoPhillips, o governo do Northern Territory, o conselho de terras indígenas e os proprietários de terra da região (BEATTY, 2013b). Segundo o acordo, os proprietários tradicionais gerariam um abatimento mínimo de 100 milhões de toneladas de créditos de CO<sub>2</sub> equivalentes por ano, durante 17 anos, recebendo aproximadamente 1 milhão de dólares australianos da empresa de energia, como compensação de carbono do Projeto Darwin Liquefied Natural Gas (LNG) (BEATTY, 2013b).

Desta forma, iniciou-se um manejo de fogo em escala de paisagem, com uma extensão aproximada de 28.000km<sup>2</sup>, onde queimadas prescritas estratégicas são conduzidas no início da estação seca para reduzir o combustível disponível ao final da estação seca (PRICE et al., 2012; BEATTY, 2013b). Com isso, reduz-se a ocorrência de queimadas extensas e de alta intensidade, consequentemente reduzindo as emissões de GEE como o metano e óxido nitroso.

Para o abatimento de emissões, o Projeto combina moderno conhecimento científico, como imagens de sensoriamento remoto e metodologias de cálculo de emissões, com o conhecimento tradicional de manejo do fogo das comunidades indígenas que residem na região, que desde os primórdios adotam a prática de queimadas em mosaico (Russell-Smith et al. 2013b). Com esta proposta, o Projeto constitui experiência pioneira no mundo, considerado hoje como referência para outros projetos de abatimento de emissões de GEE em áreas de savana.

Hoje, o Projeto WALFA não apenas atinge o abatimento anual estabelecido, como também o supera, entregando excedente substancial ao previamente acordado (Russell-Smith et al., 2013). Já nos primeiros cinco anos, o Projeto abateu 707.000 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes, o que representa um resultado de 140% em relação ao objetivo proposto (NAILSMA, [s.d.]). E o sucesso do Projeto vai muito além da redução de emissões, onde o aprimorado manejo do fogo trouxe benefícios para a comunidade indígena da região, não apenas em termos ambientais, como também socioculturais e econômicos (BEATTY, 2013b).

Para a comunidade local, o Projeto trouxe oportunidades de emprego através do uso de seu próprio conhecimento, possibilitando uma menor dependência do financiamento governamental e potencial aumento na qualidade de vida (Heckbert et al., 2012). Com o Projeto WALFA servindo de exemplo, outros projetos de compensação de carbono através de manejo do fogo de base comunitária estão sendo desenvolvidos na Austrália, como é o caso do Projeto intitulado *Fish River Fire Project* (NAILSMA [s.d.]).

Para além dos benefícios supracitados, o Projeto contribuiu de forma valiosa para o monitoramento e verificação de GEE (BEATTY, 2013b) por queima de biomassa. Derivado diretamente de uma demanda do projeto, esforços conjuntos das muitas organizações e pesquisadores envolvidas no WALFA resultou, após anos de trabalho, no desenvolvimento de uma nova metodologia para o cálculo de emissões de GEE resultantes de queimadas em savanas (NAILSMA, [s.d.]) Esta metodologia é diretamente derivada da metodologia do Manual de Referência do IPCC de 1996, porém, diversas melhorias foram feitas, como calibração em campo dos dados de sensoriamento remoto e adaptação de valores default do Manual para as condições locais, como fatores de emissão (Russel-Smith et al., 2014). A metodologia utilizada pelo Projeto WALFA considera dados mais detalhados e regionais sobre, por exemplo, a estrutura da vegetação local, carga de combustível e eficiência de combustão, assim como melhores dados para o estabelecimento de linhas de base (RUSSEL-SMITH et al., 2009).

Em fevereiro de 2012, o Departamento de Mudanças Climáticas e Eficiência Energética do Governo australiano aprovou a chamada Savanna Burning Methodology no contexto do Carbon Farming Initiative (CFI), um mecanismo criado no país que possibilita esquemas de compensação formal de carbono (Russel-Smith et al., 2014). A validação de tal metodologia representa um grande marco para o manejo do fogo no norte da Austrália, assim como modelo para o desenvolvimento de metodologias em outros países em contextos semelhantes, como é o caso do Brasil.

#### **4.2. Experiência do Brasil**

A relação com queimadas e incêndios florestais no Brasil é marcada por um histórico de proibição e supressão, o que é possível observar nos regimentos e leis como o antigo Código Florestal, que determinavam fortes punições aos incendiários, assim como àqueles que recusassem auxílio no combate ao fogo (DIAS; MIRANDA, 2010). A concepção cultural

do fogo como distúrbio predominantemente prejudicial é resultado de um histórico de mau uso desta ferramenta, o qual atrasou o processo de desenvolvimento e implementação de programas de manejo do fogo em áreas de conservação do bioma Cerrado (PIVELLO et al., 1996). Regulamentações de áreas de proteção do bioma, no geral, admitiam quase nenhuma intervenção humana (PIVELLO et al., 1996). Com o passar do tempo, regulamentações começaram a alterar a concepção centrada na proibição e supressão total de queimadas e incêndios, para uma abordagem que reconhecia o fogo como importante ferramenta de manejo, permitindo então o seu uso com autorização prévia e devidas precauções (DIAS; MIRANDA, 2010).

Paralelamente, os efeitos do fogo no Cerrado e seu papel ecológico já vinham sendo estudados desde o início do século XIX, havendo considerável desenvolvimento do conhecimento nas décadas de 1970 e 1980, com importantes trabalhos experimentais sobre a ecologia do fogo em áreas de Cerrado, principalmente no estado de São Paulo (COUTINHO, 1977; DIAS; MIRANDA 2010). Na década de 80, o tema tornou-se o centro das atenções do público tanto nacional, quanto internacional, principalmente devido aos extensos e destrutivos incêndios experienciados no Brasil na época, assim como a crescente consciência ecológica do período (DIAS; MIRANDA, 2010).

A partir da década de 1980, o tema fogo e sua relação com a dinâmica de savanas ganhou maior visibilidade no contexto internacional, culminando na “criação de um programa de pesquisa de cooperação internacional patrocinado pela UNESCO e pela União Internacional de Ciências Biológicas (IUBS), nomeado Respostas das Savanas à Estresse e à Perturbação (RSSD)” (Frost et al., 1986 apud DIAS; MIRANDA, 2010). O Programa, que iniciou-se em 1985, buscava investigar, nas savanas de diferentes continentes, o efeito dos principais fatores determinantes em ecossistemas savânicos (estresse hídrico, estresse nutricional, fogo e herbivoria). No mesmo ano, discutia-se em Brasília a criação de um projeto sobre os efeitos do fogo no Cerrado, objetivando investigar tais relações de forma integrada e colaborativa, reunindo interesse de importantes organizações, Institutos e Universidades do país (DIAS; MIRANDA, 2010). Em 1987, durante reunião regional para discutir a implementação do Programa RSSD, na Venezuela, uma equipe de pesquisadores do Brasil esteve presente para apresentar propostas de projetos para integrar o Programa. Entre as propostas apresentadas, estava a resultante de uma parceria entre IBGE, Jardim Botânico de Brasília e a Universidade de Brasília, o que mais tarde ficaria conhecido como Projeto Fogo (DIAS; MIRANDA, 2010).

#### *4.2.1. Projeto Fogo*

Iniciado em 1988, o Projeto denominado Efeitos do Regime do Fogo sobre a Estrutura de comunidades de Cerrado, mais conhecido como Projeto Fogo, objetivava a implementação de experimentos de longo prazo para o melhor entendimento da influência do fogo sobre a dinâmica de savanas, para melhor subsidiar as decisões referentes tanto à conservação, quanto ao uso mais sustentável do bioma e seus recursos naturais (DIAS; MIRANDA, 2010).

O Projeto Fogo foi desenvolvido com o objetivo de buscar a melhor compreensão dos impactos do fogo e os diferentes regimes sobre a biota (vegetação e fauna) e o meio físico (solo e microclima) do Cerrado, de forma a melhor entender o papel ecológico e evolutivo das queimadas sobre a estrutura e os processos ecológicos do ecossistema. A partir do Projeto Fogo, inúmeros projetos de pesquisa foram criados para investigar os mais diversos aspectos do ecossistema em relação ao fogo, o que resultou em descobertas significativas sobre os efeitos de queimadas na vegetação lenhosa, herbácea e nos bancos de sementes, assim como sobre a fauna, ciclagem de nutrientes e emissão de GEE. Muitos destes estudos foram disponibilizadas ao público sob a forma de artigos científicos, livros, teses de mestrado e doutorado, apresentação em congressos entre outros (PIVELLO, 2010), colaborando muito para a disseminação do conhecimento sobre o tema e a mudança da predominante visão do fogo no Brasil.

#### *4.2.1. Projeto Cerrado-Jalapão*

Iniciado em 2012, o Projeto "Prevenção, Controle e Monitoramento de Queimadas Irregulares e Incêndios Florestais no Cerrado", mais conhecido como Projeto Cerrado-Jalapão, é um projeto pioneiro que pretende colaborar para a mudança de paradigma em relação ao fogo no Cerrado, contribuindo para a mudança da visão histórica de supressão às queimadas para o manejo integrado do fogo em Unidades de Conservação do país.

O projeto tem como principal objetivo a implementação e desenvolvimento de ações de Manejo Integrado e Adaptativo do Fogo, assim como a criação e melhoria de sistemas de monitoramento de queimadas e desmatamentos. Desta forma, pretende-se melhorar o combate à incêndios e a integração de ações que considerem os aspectos ecológicos e sociais do manejo do fogo, de forma a auxiliar na conservação da biodiversidade e manutenção do

Cerrado como sumidouro de carbono de importância global, reduzindo também as emissões de GEE (GIZ, 2015).

A iniciativa é fruto de uma cooperação bilateral Brasil-Alemanha, coordenada pelo Ministério do Meio Ambiente do Brasil (MMA) em parceria com Ibama, ICMBio, INPE e o Governo do Estado do Tocantins. Do lado alemão, o projeto recebe apoio da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por meio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, e com a Cooperação Financeira Alemã, por meio do Banco Alemão para o Desenvolvimento (KfW) (MMA, [s.d.]).

Além de importantes Unidades de Conservação Federais, o Projeto também atua em municípios e áreas federais considerados prioritários, devido sua relevância para a conservação da biodiversidade do Cerrado e proteção do clima. Ao total, a área de atuação do Projeto abrange 81.971 km<sup>2</sup>, o que é equivalente à aproximadamente 4% da área total do bioma Cerrado (MMA, [s.d.]). A escolha da área se deu por esta representar quase 45% das áreas de proteção integral do Cerrado (MMA, [s.d.]), com o corredor ecológico da região do Jalapão entre as mais extensas áreas protegidas do bioma, sofrendo recentemente crescentes índices de desmatamento e incêndios (HOFFMANN, 2012a). Tal fato é demonstrado no trabalho de Santos et al. (2014), que analisou a distribuição espacial dos focos de queimada para o bioma cerrado entre os anos de 2002 e 2012, concluindo que a porção norte do bioma apresenta queimadas mais frequentes e intensas, principalmente em estados que vem sofrendo com a expansão agropecuária, como o Maranhão, Piauí, Tocantins e a região oeste da Bahia.

Nas áreas de atuação do Projeto, “fogo constitui ferramenta indispensável para o sustento das famílias, principalmente para o manejo de pastagens”, com boa parte das queimadas para renovação de gramíneas ocorrendo em intervalos bianuais (HOFFMANN, 2012b). Além das pastagens, as comunidades tradicionais também utilizam o fogo para a agricultura de queima e corte, caça, controle de pragas, limpeza de estradas, coleta de produtos florestais e coleta de mel.

Com previsão de quatro anos de execução (2012 a 2016), as ações do Projeto foram organizadas em 4 componentes principais, como apresentado na tabela 1:

**Tabela 1.** Componentes do Projeto Cerrado-Jalapão.

Componente	Descrição	Principais Ações
------------	-----------	------------------



1	Manejo Integrado e Adaptativo do Fogo melhorado em regiões selecionadas do Cerrado	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Implementação de Programas Piloto de MIF em áreas prioritárias</li> <li>✓ Capacitação e Treinamento de Brigadistas (prevenção e queimadas prescritas)</li> <li>✓ Fortalecimento de Estruturas de Governança (descentralização)</li> </ul>
2	Fortalecimento dos mecanismos participativos na gestão das unidades de conservação selecionadas e melhoria do nível de conhecimento sobre os efeitos das queimadas e incêndios	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Implantação de termos de compromisso entre gestão de UCs e comunidades do entorno para uso controlado do fogo</li> <li>✓ Apoio a realização de estudos sobre MIF, de forma a subsidiar a tomada de decisão e demonstrar o potencial do manejo para a conservação da biodiversidade e proteção do clima no Cerrado.</li> </ul>
3	Desenvolvimento e aprimoramento de metodologias de monitoramento de áreas queimadas, incêndios florestais e desmatamento no Cerrado, bem como contabilização de emissões de GEE	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Desenvolvimento de metodologias baseadas em sensoriamento remoto para monitoramento e prevenção de incêndios</li> <li>✓ Utilização de tais metodologias para cálculo dos efeitos dos incêndios sobre estoques de carbono e emissão de GEE</li> </ul>
4	Gestão do conhecimento e disseminação das experiências sobre Manejo Integrado e Adaptativo do Fogo no Cerrado	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Sistematização e divulgação de experiências adquiridas e instrumentos desenvolvidos pelo Projeto de forma a estimular e possibilitar a aplicação da abordagem em outras regiões</li> <li>✓ Cooperação com universidades, sociedade civil e redes internacionais como estratégia de disseminação de experiências</li> </ul>

**Fonte:** Informações extraídas e adaptadas de MMA, [s.d.].

De forma similar a abordagem implementada no Projeto WALFA, na Austrália, o Projeto Cerrado Jalapão já avançou em seus primeiros passos referentes ao manejo do fogo com a participação das comunidades locais. Este é o caso da Estação Ecológica da Serra Geral de Tocantins, onde acordos foram firmados entre os gestores da UC e a comunidade circundante, de forma a permitir queimadas realizadas pelas famílias locais, desde que de acordo com requisitos preestabelecidos (como calendário de queimadas), podendo inclusive contar com o apoio da equipe da UC para a realização de tais queimadas controladas. Em diversas áreas do Projeto, estão sendo firmados os chamados “protocolos municipais”, instrumento este que define o papel e principais responsabilidades relacionadas ao manejo do fogo entre os diferentes atores envolvidos na região, e o fortalecimento de ações conjuntas (HOFFMANN, 2012b). Também de forma análoga ao Projeto WALFA, o Projeto Cerrado-Jalapão está avançando para experiências de manejo integrado do fogo em terras indígenas,

no Parque Nacional do Araguaia (TO). O objetivo é envolver ativamente as comunidades indígenas locais com o manejo integrado do fogo, através de capacitações, educação ambiental e compartilhamento de conhecimentos, visto que tais comunidades utilizam historicamente o fogo como ferramenta de manejo. Tal experiência ainda se encontra em fase inicial, e consiste em grande desafio para o Projeto por motivos como a interposição de uso da terra e os consequentes conflitos associados (HOFFMANN, 2012b).

Nesta variedade de ações propostas e já em execução, o Projeto Cerrado-Jalapão apresenta potenciais contribuições para políticas nacionais relacionadas ao meio ambiente e ao clima. O Projeto insere-se no contexto da Iniciativa Internacional de Proteção ao Clima (IKI) do Ministério do Meio Ambiente, Proteção da Natureza, Construção e Segurança Nuclear da Alemanha (BMUB), assim como apoia a implementação do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado), um dos instrumentos da Política Nacional sobre Mudança do Clima (MMA, [s.d.]). Instituída pela Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, a Política Nacional sobre Mudança do Clima foi apresentada durante a 15ª Conferência das Partes (15ª COP) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, onde explicitou-se os compromissos nacionais voluntários de redução de emissões de GEE, entre os quais constava o objetivo de reduzir 40% das emissões oriundas de mudanças de uso da terra no Cerrado até 2020, o que apresenta relação direta com as queimadas que ocorrem na vegetação (MMA, [s.d.]).

Para o alcance de seus objetivos, o Projeto Cerrado-Jalapão propõe uma adaptação do existente Manejo do Fogo da região para uma estratégia que incorpore “os princípios e técnicas de elementos-chave do MIF ainda não reconhecidos ou institucionalizados” (BEATTY, 2014) pela vigente gestão do fogo da área abrangida pelo Projeto. Neste processo adaptativo, o Projeto selecionou três Unidades de Conservação (UC) para a implementação de programas piloto de MIF, entre as quais a Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (EESGT), o Parque Estadual do Jalapão (PEJ) e o Parque Nacional da Chapada das Mesas (PNCM). Os programas piloto foram iniciados em 2014, onde incorporou-se à existente estrutura de manejo do fogo os elementos-chave: Queimadas Prescritas e Manejo do Fogo de Base Comunitária (MFBC). Esta adaptação contou com o apoio de consultoria técnica da Austrália, especializada em gestão do fogo. Entre outras atividades, a consultoria especializada auxiliou na capacitação da administração e brigadas de incêndio das UCs para a execução de queimadas controladas, as quais foram executadas no início da estação seca (maio-julho) de 2014 (BEATTY, 2014a).

Como já previamente explicado (seção 3), queimadas conduzidas no início da estação seca possuem o objetivo de reduzir a carga de combustível, criando uma paisagem em mosaico de áreas queimadas e não queimadas. No Projeto Cerrado-Jalapão, tais queimadas são executadas para diminuir a probabilidade de extensos incêndios ao final da estação seca, os quais tendem a ser muito mais severos e difíceis de controlar, trazendo uma série de impactos negativos. Além disso, queimadas prescritas, quando aplicadas em escala de paisagem, podem representar expressivas reduções na emissão de gases de efeito estufa, assim como melhorar o potencial de sumidouro de carbono da vegetação, os quais também constituem objetivos centrais do Projeto.

Para que tais efeitos sejam mensuráveis, é necessário estabelecer sistemas de monitoramento que permitam estimar emissões provenientes de queimadas, e neste contexto o sensoriamento remoto tem-se mostrado ferramenta valiosa. Com o auxílio do INPE e outras instituições, o Projeto tem desenvolvido mapas e produtos que auxiliam o planejamento e implementação das queimadas prescritas, assim como as estimativas de redução de emissões de GEE resultantes das ações de Manejo do Fogo realizadas nos programas piloto.

A tabela 2 ilustra as principais instituições e suas respectivas atividades e linhas de pesquisa no Projeto com relação às atividades ligadas ao sensoriamento remoto e modelagem de parâmetros, para o melhor entendimento dos impactos do fogo na vegetação, fluxos de carbono e consequente emissões de GEE.

**Tabela 2.** Principais atividades, responsabilidades e/ou linhas de pesquisa de cada parceiro institucional do Projeto Cerrado Jalapão para o monitoramento de MIF.

Parceiro Institucional	Principais atividades, responsabilidades e/ou linhas de pesquisa dentro do Projeto
<b>Universidade de Brasília (UnB)</b>	✓ Regeneração da Biomassa
	✓ Efeitos do fogo na vegetação
	✓ Comportamento do fogo
	✓ Conhecimento sobre fogo e percepções das comunidades
<b>RSS Remote Sensing Solutions</b>	✓ Mapeamento de carga de combustível
	✓ Mapeamento de tipo de vegetação
	✓ Modelagem de biomassa
<b>ZEBRIS</b>	✓ Estimativas de biomassa queimada
	✓ Estimativas de emissões recentes e históricas
	✓ Cooperação INPE/DLR (German AerospaceCenter) no monitoramento do fogo
<b>INPE</b>	✓ Histórico de áreas queimadas
	✓ Monitoramento de áreas queimadas
	✓ Fogos ativos

**Fonte:** Adaptado de Rucker (2015)

Tais atividades são realizadas de forma colaborativa entre os parceiros, havendo interdependência das ações para obtenção de resultados finais. Para a quantificação de emissões de GEE, um esforço conjunto de parceiros institucionais do Projeto Cerrado-Jalapão, como as empresas alemãs ZEBRIS e RSS (consultores de sensoriamento remoto) está em pleno andamento (BEATTY 2014a). Diferentemente da metodologia utilizada pelo Projeto WALFA para cálculo de emissões, o Projeto Cerrado-Jalapão está desenvolvendo uma abordagem alternativa para se estimar biomassa queimada, a qual utiliza o calor radiante emitido por incêndios, do qual pode-se obter a Energia Radiativa do Fogo (ERF), que é proporcional a taxa de biomassa queimada (RUECKER, 2015). Através de modelos estatísticos que integram os valores obtidos pela Energia Radiativa do Fogo (ERF), observações climáticas, área total queimada e carga de combustível, associados ao uso de fatores de emissão, estima-se as emissões resultantes de queimadas no âmbito do Projeto Cerrado Jalapão (RUCKER, 2015).

Para que se obtenha estimativas mais acuradas das emissões resultantes das queimadas prescritas do Projeto Cerrado-Jalapão, muitas ações ainda têm de ser desenvolvidas, permitindo a adequação e calibração de mapas e parâmetros para as condições locais. Alguns dos principais desafios para que se alcance uma metodologia confiável de cálculo de emissões de GEE para o manejo do fogo no Cerrado estão listados na seção 6 do trabalho, que relata os “principais desafios ao manejo do fogo para redução de GEE no Brasil”.

## 5. FLUXOS DE CARBONO EM SAVANAS E “EQUAÇÃO NULA”

Diversos são os ciclos que interconectam a biosfera com a atmosfera, como é o caso do ciclo do carbono. Uma das principais vias de troca de carbono realizada entre estes compartimentos ocorre, de forma simplificada, com  $\text{CO}_2$  sendo retirado da atmosfera através do processo de fotossíntese realizado pela vegetação, e retornando para a atmosfera pela respiração das plantas (autotróficas) e decomposição da matéria orgânica nos solos (respiração heterotrófica). Na ausência de atividades humanas, acredita-se que estes fluxos de  $\text{CO}_2$  entre a atmosfera e a biosfera estariam em equilíbrio, com quantidades equivalentes de  $\text{CO}_2$  sendo liberadas e reabsorvidas pela vegetação e solos (IPCC, 1997).

Entretanto, com a intensa liberação de gases resultante das atividades humanas, principalmente no decorrer dos últimos séculos, ciclos biogeoquímicos naturais da Terra têm sofrido drásticas alterações. Com relação ao ciclo do carbono, além da grande liberação de  $\text{CO}_2$  proveniente da queima de combustíveis fósseis e biomassa, as ações humanas também têm ocasionado alterações nos sumidouros responsáveis pela reabsorção deste gás de efeito estufa, interferindo em estoques naturais de carbono, como a vegetação e os solos.

Atualmente, diversos estudos têm se ocupado com a mensuração de tais fluxos, principalmente devido aos preocupantes níveis de  $\text{CO}_2$  na atmosfera e a consequente mudança climática. Savanas constituem importante sorvedouro de carbono da atmosfera, apresentando inclusive, potencial de absorção até mesmo maior do que o observado para florestas tropicais maduras (MONTEIRO, 1995), dependendo do manejo empregado no ecossistema. Entretanto, a contribuição destes ecossistemas no balanço global de carbono é ainda hoje incerta, sendo necessário mais pesquisas para que se obtenham estimativas mais acuradas. Entre outros motivos, tais estimativas são hoje também realizadas para reportar emissões e absorções antrópicas em inventários nacionais, como resposta às exigências da Convenção-Quadro das Nações Unidas para Mudança do Clima e compromissos voluntários de redução de GEE.

Países participantes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima devem apresentar inventários nacionais que contabilizem as emissões e absorção das referentes fontes e sumidouros resultantes de atividade antrópica, de forma a estabelecer linhas de base e verificar a situação do país em relação às metas de redução de emissões pré-estabelecidas. Para auxiliar os países no cálculo e estimativa de suas emissões, e na preparação de inventários nacionais de GEE, o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) publicou, em 1995, um manual com metodologias para cálculo de

emissões, assim como índices e valores-base recomendados para o uso das metodologias, no caso de falta de dados específicos do país (IPPC, 1997). Posteriormente, versões revisadas do Manual foram publicadas, assim como guias de boas práticas que auxiliavam países a estimar e reportar suas emissões. Com o avanço do conhecimento e desenvolvimento de metodologias que permitiam estimativas mais acuradas de emissões de GEE, uma nova versão do Manual foi lançada em 2006, chamada 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, ou apenas 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006).

O manual é dividido em diferentes setores potenciais emissores de GEE, e no setor da Agricultura, considera-se a contribuição de emissões de GEE resultantes de queimadas prescritas em savanas. Fogo em savanas é considerado como fonte antropogênica de gases por ser, em sua maioria, causado pelo homem, com objetivos diversos como controle da vegetação, controle de pragas, promoção da ciclagem de nutrientes e da rebrota de capim para pecuária. Entretanto, de acordo com o Manual de Referência do IPCC de 1996, as emissões de CO<sub>2</sub> de queimadas em savanas não devem ser contabilizadas, pois considera-se que estas são reabsorvidas durante o rápido recrescimento da vegetação após o fogo, assumindo um balanço líquido de CO<sub>2</sub> igual a zero. Assim, as emissões contabilizadas como consequência de queimadas em savanas se referem somente ao metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), que como CO<sub>2</sub>, representam gases que contribuem para o aumento do efeito estufa, elevando a temperatura da terra (IPCC, 1997). Diferentemente do CO<sub>2</sub>, metano e óxido nitroso não são reabsorvidos pelas plantas, sendo por isso incluídos nas contas oficiais de emissão. Quando comparados com o gás carbônico, gases como metano e óxido nitroso possuem um Potencial de Aquecimento Global (em inglês: Global Warming Potential – GWP) significativamente superior, conforme mostra tabela 3 (IPCC, 2013), sendo de fato importante o monitoramento e quantificação de tais gases para propor medidas de abatimento de emissões. No Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (KRUG, 2002), as emissões de metano e óxido nitroso resultantes da queima de biomassa no cerrado (não-antrópico) foram estimadas de acordo com a metodologia proposta pelo Manual de Referência do IPCC de 1996 (KRUG, 2002). Para o ano de 1999, estimou-se uma liberação de 7.650Gg de metano em CO<sub>2</sub> equivalente, e 1.132,4Gg de óxido nitroso em CO<sub>2</sub> equivalente.

Segundo relatório apresentado a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima pelo governo australiano (Australia's Third National Communication on Climate Change, 2002), queimadas prescritas em savanas na Austrália contribuíram com

cerca de 8,845Gg de metano em CO<sub>2</sub> equivalente e 6,682Gg de óxido nitroso em CO<sub>2</sub> equivalentes durante o ano de 2000 (Commonwealth of Australia 2002).

**Tabela 3.** Potencial de Aquecimento Global (em inglês: Global Warming Potencial – GWP) de GEE resultantes da queima de biomassa.

<b>Fórmula química GEE</b>	<b>GWP (100 anos)</b>
CO <sub>2</sub>	1
CH <sub>4</sub>	25
N <sub>2</sub> O	298

**Fonte:** Adaptado de IPCC, 2007.

Mesmo com expressivas emissões de gases como metano e óxido nitroso, o CO<sub>2</sub> ainda constitui o principal responsável pelo efeito estufa, principalmente devido a sua alta concentração na atmosfera quando comparada com a de outros gases-estufa (MONTEIRO, 1995).

Trabalhos realizados por diversos autores têm demonstrado que esta suposição de balanço de carbono nulo em savanas deve ser reconsiderada, visto que diversos são os fatores que podem influenciar tanto as emissões quanto o potencial sorvedouro de carbono após um distúrbio. Segundo Barbosa et al. (2001), tal premissa só se aplica para queimadas de menor intensidade e/ou frequência, desconsiderando fatores como a possibilidade de mais de um evento de fogo no mesmo ano e em uma mesma área, assim como os impactos de incêndios severos. Infelizmente, tem-se observado, a cada dia mais, alterações nos regimes de fogo em savanas, o que pode resultar em impactos significativos na “distribuição e tempo médio que parte do carbono permanece na atmosfera”, potencialmente influenciando todo clima (RICHARDS et al., 2011). O comportamento do fogo, que é determinado por diversas variáveis (como topografia, intensidade, taxa de propagação, dinâmica do combustível, tempo de residência e em especial, o clima) também influencia diretamente os efeitos deste sobre a vegetação e os estoques de carbono (MAIA, 2003). Segundo projeções climáticas, o Cerrado pode enfrentar intensificação em condições climáticas (MARENGO, 2007) que propiciam um aumento da frequência e severidade de queimadas, como o aumento da temperatura média e predomínio de secas mais longas e drásticas.

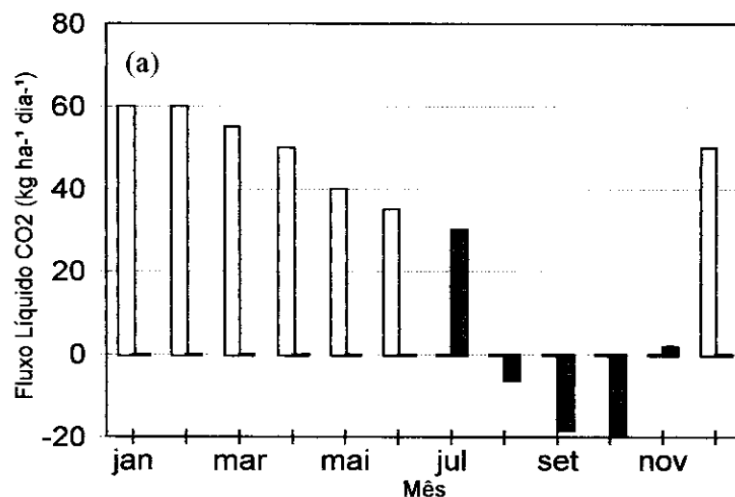
Desta forma, diversos estudos vêm sendo conduzidos para investigar as variáveis que potencialmente influenciam os fluxos e os estoques de carbono da vegetação, propondo medições de fluxo de carbono em diferentes fitofisionomias de savana e variados cenários em relação ao fogo, de forma a identificar o verdadeiro papel de ecossistemas savânicos nos balanços regional e global de carbono. Na Austrália, diversos estudos já foram realizados para estimar o potencial sumidouro de carbono dos ecossistemas savânicos do país, onde encontrou-se valores de absorção na ordem de 1 a 3 t C/ha/ano (RICHARDS, 2011). No

Brasil, o trabalho realizado por Monteiro (1995) em áreas de cerrado *sensu stricto* encontrou valores aproximados, com uma armazenamento de cerca de 2 t C/ha/ano. Outros estudos demonstraram também a importância de se estimar o potencial estoque de carbono do solo de savanas, pois este pode representar um reservatório de carbono ainda maior que o estimado para a vegetação, o que deve ser levado em conta nas práticas de manejo da terra (RICHARDS, 2011).

No Brasil, os estudos referentes aos impactos do fogo sobre diferentes aspectos do bioma Cerrado avançaram muito nas últimas décadas. O conhecimento sobre os potenciais impactos de diferentes regimes de fogo nas diversas formas fisionômicas do cerrado, e sua relação com alterações nos fluxos de carbono e balanço anual global de carbono começou a se desenvolver mais com os primeiros trabalhos sendo conduzidos principalmente a partir de meados da década de 1990 (ver MAIA, 2003 para revisão). Boa parte destes trabalhos, descritos em maior detalhe abaixo, aconteceram no contexto do “Projeto Fogo” (ver seção 4.2.1.).

Buscando melhorar o entendimento sobre a potencial contribuição do Cerrado para o balanço regional de carbono, Monteiro (1995) (que buscou complementar dados previamente obtidos por Miranda em 1993, na mesma área) realizou medições de fluxo de carbono em uma área de cerrado *sensu stricto* na Estação Ecológica de Águas Emendadas, no Distrito Federal. Mesmo abrangendo apenas uma forma fisionômica, o estudo sobre cerrado *sensu stricto* já é bastante representativo, visto que esta fisionomia é a mais extensa, ocupando aproximadamente 53% do bioma (MIRANDA et al. 1996). Neste trabalho, as observações de fluxo de carbono foram feitas em área protegida do fogo, onde o último evento de queima acidental se deu em 1987, o qual afetou apenas o estrato herbáceo de forma significativa, preservando árvores e arbustos (MIRANDA et al. 1996). A área de estudo apresenta dossel com altura média de 9 metros, com esparsas árvores atingindo alturas de 10 a 12 metros. Entre outros parâmetros, o estudo investigou as taxas de assimilação de CO<sub>2</sub> pela fotossíntese, e de liberação de CO<sub>2</sub> através da respiração e decomposição pela vegetação e solo da área. Com estes dados, a autora estimou então o fluxo líquido de dióxido de carbono na área, conforme mostra figura 8:





**Figura 8.** Média mensal de valores diários do fluxo líquido de dióxido de carbono em área de cerrado sensu stricto no Distrito Federal, 1994. Valores positivos representam assimilação pelo ecossistema e negativos representam liberação para atmosfera. As barras em preto são valores do trabalho de Monteiro (1995), enquanto as barras em branco são valores extraídos do trabalho de Miranda et al. (1996).

**Fonte:** Extraído de Monteiro (1995).

Conforme apresentado na Figura 8, o Cerrado da área de estudo se comportou como um sumidouro de carbono durante a maior parte do ano (de novembro a julho), se tornando uma fonte de CO<sub>2</sub> para a atmosfera apenas entre os meses de agosto a outubro (final de estação seca). Monteiro (1995) comparou seus resultados com estimativas de absorção de CO<sub>2</sub> já realizadas em outros ecossistemas, e concluiu que o cerrado de sua área de estudo acumulou, em média, mais carbono que a floresta Amazônica, fato este que lançou indicativos sobre o papel do Cerrado no balanço global de carbono.

Contudo, tal contribuição ao balanço de carbono ainda precisava ser verificada em áreas com diferentes fisionomias e sob o efeito do fogo, visto que grande quantidade de carbono é emitida durante eventos de queimada, assim como taxas de assimilação são alteradas após a passagem do fogo. A quantidade de gás carbônico que é absorvido pelas plantas, por exemplo, é função direta da produtividade primária líquida (PPL) do ecossistema, a qual pode variar imensamente por fatores como: disponibilidade de nutrientes, aspectos fisionômicos da vegetação, variações sazonais e incidência do fogo (SANTOS 1999). Em savanas, verifica-se um aumento na produtividade primária líquida logo após eventos de queimada, potencialmente por fatores como a alta disponibilidade de nutrientes disponibilizados com o fogo (COUTINHO, 1990 apud SANTOS, 1999) e diferenças na competição por luz e espaço (MIRANDA; KLINK, 1996) em uma área queimada. Este aumento do potencial de absorção em savanas durante o período de recuperação de queimadas ainda gera controvérsias, sendo necessária a condução de mais pesquisas para investigar quanto tempo cada fisionomia de savana demoraria para estabilizar sua produtividade após

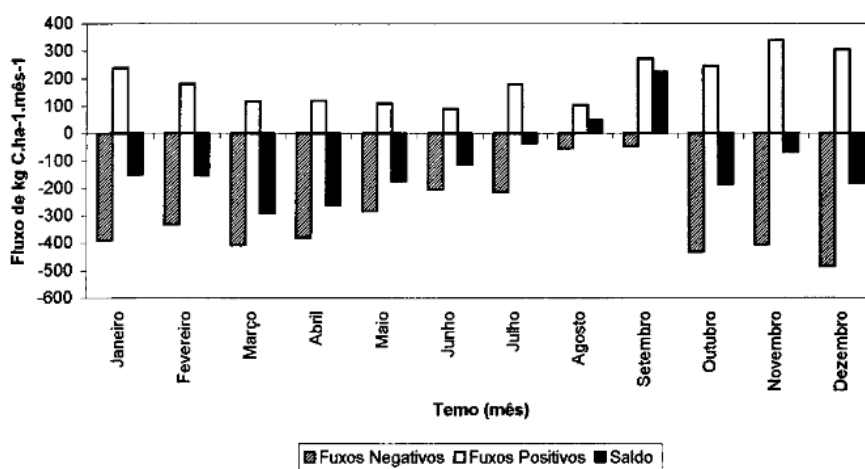
diferentes eventos de fogo, visto que tal variação também depende muito da intensidade e dano causado pela queimada, assim como o intervalo entre tais eventos de perturbação (MIRANDA, et al., 1997).

De modo a verificar tais variações e seus potenciais determinantes, Santos (1999) e Silva (1999) levantaram dados sobre fluxos de CO<sub>2</sub> em área de Cerrado que apresentava fitofisionomia de campo sujo. Para os dois trabalhos, as medições foram realizadas em áreas de queimada prescrita do “Projeto Fogo” (de 4 ha), na Reserva Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (RECOR). Na área de estudo de Silva (1999), queimadas bienais eram executadas pelo Projeto Fogo ao final da estação seca (meio de setembro) desde 1992, após 18 anos de exclusão do fogo. As medidas foram tomadas entre os meses de julho a dezembro (1998), com a queimada prescrita ocorrendo em setembro do mesmo ano. Já Santos (1999) realizou medidas na parcela de queimada prescrita quadrienal, durante o final da estação seca (início de outubro) e início da estação chuvosa (novembro e dezembro).

Silva (1999) observou que, assim como o cerrado *sensu stricto*, campo sujo também se comportava como uma fonte de CO<sub>2</sub> apenas no auge da estação seca, se tornando novamente um sumidouro de carbono com o início da estação chuvosa. Entretanto, quando comparado ao cerrado *sensu stricto* (MONTEIRO, 1995), as taxas encontradas para o campo-sujo, tanto de fotossíntese quanto de transpiração, foram maiores na estação chuvosa (SILVA, 1999). Mesmo realizando medições em apenas 3 meses, Santos (1999) obteve resultados conclusivos sobre o forte potencial de absorção do campo-sujo. O autor verificou que o campo-sujo se comportou como fonte de CO<sub>2</sub> em outubro (liberando cerca de 43 kg de CO<sub>2</sub> /ha/dia), o que foi praticamente revertido em novembro, quando a taxa de liberação líquida chegou muito próxima a zero. Em dezembro, o campo-sujo já passou a se comportar como forte sorvedouro, com uma assimilação líquida de 67 kg /ha/dia de CO<sub>2</sub>. O rápido aumento nas taxas de absorção de CO<sub>2</sub> pelo campo-sujo (que acompanha o avanço do período chuvoso) pode estar relacionado ao crescimento das gramíneas C4 que estavam em estado de dormência durante o período seco (SANTOS, 1999). Com estas altas taxas de assimilação alcançadas pelo campo-sujo, estima-se que, para que todo carbono liberado durante eventos de fogo seja reabsorvido pela vegetação desta fitofisionomia, seria necessário um tempo de aproximadamente 1,3 ano (SANTOS, 1999; SILVA, 1999).

Com o objetivo de dar continuidade às pesquisas sobre a dinâmica de carbono sob diferentes regimes de fogo, e o potencial do cerrado como sorvedouro de carbono, Maia (2003) mediu fluxos de CO<sub>2</sub> na antiga parcela controle do Projeto Fogo (cerrado *sensu*

stricto), a qual estava protegida de fogo há mais de 26 anos. Dois eventos de queima acidental afetaram a área, no ano de 1994, e depois novamente em 1999. Maia (2003) acompanhou a recuperação da fitomassa e os fluxos de CO<sub>2</sub> na área durante o período de agosto de 2000 a outubro de 2002. De forma similar aos resultados obtidos em outros trabalhos realizados em cerrado sensu stricto (Monteiro, 1995; Miranda, 1996), a área funcionou como sumidouro de CO<sub>2</sub> durante a maior parte dos anos de estudo, se tornando uma fonte de carbono apenas nos meses de agosto e setembro, como mostra figura 9. Para este trabalho, o acúmulo de carbono líquido anual foi estimado em 1,3 t C/ha (média dos anos 2001 e 2002), valor este



razoavelmente próximo ao mínimo estimado por Monteiro (1995) para o cerrado sensu stricto (1,6 t C/ha/ano).

**Figura 9.** Fluxo de carbono para o ano de 2002 em área de cerrado sensu stricto localizado na Reserva Ecológica do IBGE (DF). A área sofreu queima acidental em 1 de agosto de 1999. Valores dos meses agosto, setembro, novembro e dezembro são projeções realizadas por MAIA (2003) com base em análises dos anos 2000 e 2001. **Fonte:** Extraído de Maia (2003).

De forma a permitir outras comparações entre os dados obtidos nos trabalhos supracitados, a Tabela 4 reúne os principais valores conclusivos que podem subsidiar a discussão sobre a contribuição do cerrado no balanço de carbono. Os valores apresentados consistem na amplitude dos dados mensais medidos na estação seca e chuvosa, demonstrando o menor e o maior valor obtido em cada estação. Entretanto, devido a heterogeneidade nos períodos estudados, tal extrapolação interfere na interpretação correta de dados, não permitindo comparações adequadas. O trabalho de Santos (1999), por exemplo, só realizou medições durante os meses de outubro, novembro e dezembro, de forma que tais dados não são representativos para todo período seco ou chuvoso.

**Tabela 4.** Dados encontrados em diferentes estudos sobre fluxo de carbono nas fisionomias de cerrado *sensu stricto* e campo-sujo. Considera-se como estação úmida os meses de outubro a março, e seca os meses de abril a setembro. Na coluna “Fluxo líquido de CO<sub>2</sub> (kg/ha/dia), valores positivos representam saída de carbono no ecossistema, e valores negativos entradas de carbono (fotossíntese).

Fitofisionomia	Fonte de dados	Estação	Emissão líquida de CO <sub>2</sub> (μmol/m/s)	Assimilação líquida de CO <sub>2</sub> (μmol/m/s)	Emissão líquida CO <sub>2</sub> (kg/ha/dia)	Assimilação líquida CO <sub>2</sub> (kg/ha/dia)	Fluxo líquido de CO <sub>2</sub> (kg/ha/dia)	Fluxo anual
<b>Cerrado <i>sensu stricto</i></b>	Monteiro, Miranda (1995)	úmida	3 - 5	6 - 10	140 - 145	120 - 150	+20 - (-60)*	2 t C/ha/ano
		seca	2 - 5	3 - 10	100 - 120	100 - 102	+18 - (-50)*	
	Maia (2003)	úmida	--	5,7 - 6,2	--	--	--	1,3 t C/ha/ano
		seca	--	3,33 - 5,8	--	--	--	
<b>Campo Sujo</b>	Silva (1999)	úmida	1,5 - 1,8	15	73,9 - 132	38,9 - 183	+35 - (-56)*	0,55 t C/ha (de junho a dez)
		seca	0,7 - 1,5 4 (com fogo)	0,03 - 2,5	20,6 - 40,2	19 - 35,7 6 (com fogo)	+36 - (-1,3)*	
	Santos (1999)	úmida	1 - 6	0 - 12	49 - 103	6 - 169	+5 - (-66)	0,15 t C/ha (out, nov, dez)
		seca	--	--	--	--	--	

Legenda: “--” = sem dados / \* = Dados obtidos por aproximação visual de gráfico. Valores em verde representam absorção da atmosfera (sumidouro)

**Fonte:** Valores calculados a partir dos resultados de Monteiro, 1995; Silva, 1999; Santos, 1999; Maia, 2003.

Interessante perceber que, como já anteriormente citado, e apresentado na última coluna da Tabela 4, em todos os estudos o fluxo anual total foi marcado por assimilação de carbono da atmosfera pela vegetação, demonstrando o potencial sorvedouro do Cerrado em diferentes fisionomias. Tanto para o cerrado *sensu stricto*, quanto para campo sujo, pode-se observar um padrão sazonal nestes fluxos de carbono, com ambas fisionomias se comportando, por um breve período (auge da seca), como fonte de CO<sub>2</sub>, retornando à condição de sumidouro de carbono com o início da estação chuvosa (SILVA, 1999; MONTEIRO, 1995). Comparando-se dados obtidos por Monteiro (1995) e Silva (1999) de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (μmol/m/s) no período chuvoso (ver tabela 4, quinta coluna), é possível perceber um potencial de assimilação máxima maior no campo sujo em relação ao cerrado *sensu stricto*. Já para o período seco, a variação nesta mesma taxa atinge valores muito superiores para o cerrado *sensu stricto* (3 - 10 μmol/m/s) quando comparada a variação no campo-sujo (0,03 - 2,5 μmol/m/s). Tais resultados indicam que, durante a estação chuvosa, o campo sujo tem capacidade de assimilar maiores quantidades de carbono do que o cerrado *sensu stricto* (SILVA, 1999). Contudo, durante o período seco, o cerrado *sensu stricto* torna-se um sumidouro mais potente.

Entre os fatores que influenciam tal comportamento estão as diferenças entre a dominância do estrato rasteiro ou lenhoso nas duas fisionomias, que variam amplamente em proporção. Tal variação é acompanhada por diferentes proporções de plantas com

metabolismo C3 e C4 em cada fisionomia (SILVA, 1999), as quais apresentam diferentes respostas fotossintéticas ao estresse hídrico e altas temperaturas.

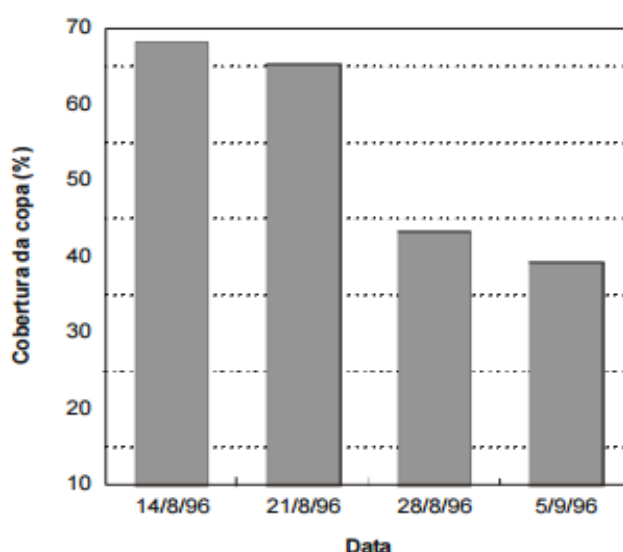
Em relação ao cerrado *sensu stricto*, campo sujo apresenta uma maior proporção de gramíneas C4 (MIRANDA et al. 1996), as quais, sob altas temperaturas, são mais eficientes na fotossíntese do que os arbustos e árvores C3 (SILVA, 1999). Desta forma, durante a estação chuvosa (e mais quente), a assimilação realizada pelas plantas C4 supera a assimilação das plantas C3, que predominam no cerrado *sensu stricto* (TAIZ; ZEIGER, 1990 apud SILVA, 1999). Em contrapartida, durante a estação seca, a produtividade das gramíneas C4 cai drasticamente em relação as de metabolismo C3, devido à dessecação das folhas e estado de dormência destas gramíneas nesta estação (SILVA, 1999).

Como pode-se observar, a composição de formas de vida da vegetação pode exercer grande influência na magnitude dos fluxos de carbono, e conseqüentemente no balanço total. Quando comparado ao estrato graminoso, o estrato arbóreo representa estoques de carbono mais significativos, potencialmente armazenando grandes quantidades de carbono em sua constituição lenhosa por longos períodos de tempo. Mesmo com diversas adaptações evolutivas para enfrentar distúrbios como as queimadas, o estrato arbóreo do cerrado pode ser altamente danificado dependendo das características e frequência do fogo, o que pode prejudicar seu potencial de estoque de carbono.

Atualmente, diversos estudos já realizados demonstraram o impacto de diferentes regimes de queima sob a mortalidade de lenhosas em fisionomias de cerrado (SATO; MIRANDA, 1996; SILVA et al, 1996). Silva et al. (1996) verificaram uma maior redução de indivíduos lenhosos em áreas de campo sujo associada a queimadas mais frequentes (com intervalo de 2 anos), quando comparada com a proteção da área contra o fogo por períodos mais longos (18 anos). Um estudo realizado por Sato e Miranda (1996) investigou as taxas de mortalidade da vegetação lenhosa submetida a queimadas prescritas em diferentes períodos do ano (início e meio da estação seca, e início da estação chuvosa), executadas em área de cerrado *sensu stricto*. Como resultado, observou-se considerável redução na densidade da camada lenhosa da área em todas queimadas realizadas.

Segundo Silva et al. (1996), “queimadas muito frequentes, cujos intervalos não são longos o suficiente para permitir o estabelecimento das rebrotas, impedem a regeneração da vegetação”. Tal afirmação demonstra a vulnerabilidade da suposição de “equação nula” de carbono em savanas considerando o atual cenário de mudanças climáticas e drásticas alterações nos regimes de fogo. Além disso, o impacto do fogo sobre a vegetação e seu

potencial de sorvedouro de carbono não depende apenas do regime de queima, variando também em relação às características da queimada, como intensidade, severidade, velocidade de propagação, entre outras (Luke & McArthur, 1978 apud SATO; MIRANDA, 1996). A figura 10 demonstra como não apenas os impactos diretos de queimadas podem ocasionar danos à vegetação e alterações nos fluxos de carbono, havendo também impactos indiretos que prejudicam as funções da vegetação, dependendo das características do fogo. Na figura 10, pode-se perceber que a redução da cobertura florestal de cerrado não se dá apenas imediatamente após o evento de queimada, com o consumo direto das folhas pelo fogo. Uma redução de mais de 40% na cobertura da copa foi observada somente duas semanas após a queimada, resultado este que indica a danificação da copa com o ar quente que acompanha a frente de fogo, potencialmente causando a queda de folhas nos dias e semanas subsequentes a queimada (NEVES (dados não publicados) apud KRUG, 2002), fator este que também pode influenciar amplamente o potencial de assimilação de carbono atmosférico da vegetação.



**Figura 10.** Redução da cobertura de copa das árvores de um cerrado denso após uma queimada prescrita (21 de agosto de 1996) na Reserva Ecológica do IBGE (DF).

**Fonte:** Extraído de Krug, 2002.

Ao mesmo tempo, longos períodos de proteção contra o fogo também podem determinar altas taxas de mortalidade devido ao combustível acumulado, que pode gerar incêndios de alta intensidade (SATO; MIRANDA, 1996). Desta forma, mais estudos são necessários para que se estabeleça regimes de queima adequados para a vegetação e os estoques de carbono.

Para que se compreenda melhor o papel do Cerrado e outras savanas no ciclo global de carbono, faz-se necessário a continuidade dos estudos de longo prazo, abrangendo diferentes

fisionomias e dinâmicas de fogo. Somente assim será possível entender até que ponto a suposição de balanço neutro de carbono em ecossistemas savânicos pode ser considerada.

## 6. PRINCIPAIS DESAFIOS AO MANEJO DO FOGO PARA REDUÇÃO DE GEE NO BRASIL

Conforme demonstrado ao longo deste trabalho, o bioma Cerrado possui considerável potencial para implementação de projetos de manejo do fogo para redução de gases de efeito estufa. Entretanto, diversos são os desafios a serem enfrentados para que experiências exitosas relacionadas ao tema, como a demonstrada pela Austrália, possam ser alcançadas.

Como previamente explicado na seção 4.2, uma das dificuldades para a implementação do manejo de fogo no Brasil diz respeito a um aspecto histórico de percepção do fogo como um distúrbio predominantemente prejudicial, que deve ser sempre evitado e combatido. Consequentemente, tal visão foi imputada nas legislações que concernem o tema de manejo da terra e florestas. No entanto, a gradual evolução da visão de fogo permitiu certa consideração do tema de manejo do fogo nas legislações vigentes, como é o caso da Resolução CONAMA nº 11/88, a qual regulamenta o uso do fogo como instrumento de manejo em Unidades de Conservação.

Segundo o artigo 3º da Resolução (11/88):

*A utilização do fogo como elemento de manejo ecológico de campos, cerrados e outros tipos de savana, adaptados à ocorrência de incêndios periódicos, deve ser precedida de estudos de impacto ambiental, com a indicação das cautelas necessárias, e efetuada de modo a manter a queimada sempre sob controle. (CONAMA, 1988)*

Da mesma forma que a Resolução CONAMA de 88, o atual Código Florestal (Lei 12.651, de 2012) também realizou avanços em relação ao uso do fogo na vegetação, abrindo diversas exceções à proibição de uso, que levam em consideração o fogo como ferramenta de subsistência de comunidades tradicionais e indígenas, em práticas agropastoris, queimas controladas em Unidades de Conservação (quando em conformidade com o respectivo plano de manejo), atividades de pesquisa científica, entre outras.

Tais legislações são determinantes na mudança do paradigma em relação ao fogo, abrindo as portas para o manejo do fogo legalizado no Brasil. Entretanto, muito ainda tem de avançar, pois muitas vezes são estas mesmas legislações que apresentam entraves para a implementação prática do manejo na complexa realidade brasileira.

Conforme experiência relatada pelo Projeto Cerrado-Jalapão na implementação de atividades piloto de Manejo Integrado do Fogo em UCs, boa parte dos incêndios que ocorrem na região tem origem no uso não autorizado do fogo como ferramenta de subsistência pelas



comunidades locais e do entorno (HOFFMAN, 2013a). Segundo o artigo supracitado da Resolução CONAMA 11/88, o uso do fogo para manejo de pastagens (entre outros objetivos) pode ser autorizado, desde que se cumpra as exigências legais previamente. E é nestas exigências legais que diversas dificuldades aparecem.

Permissões de queima são concedidas perante comprovação de posse de terra, realidade essa que já elimina boa parte dos moradores rurais, das mais diversas regiões do Brasil, de exercerem suas atividades em conformidade com a lei. Além desta exigência, diversos outros requerimentos impossibilitam a obtenção de autorização por estes moradores, o que acaba resultando em um número de permissões concedidos muito menor do que a frequência de fogos ateados para fins agropecuários. Fora as dificuldades com documentação, as longas distâncias e o difícil acesso dos pequenos agricultores aos escritórios dos órgãos reguladores também tem se demonstrado um entrave na regulamentação do uso do fogo (HOFFMAN, 2013a). Tais exigências burocráticas estão sendo aliviadas em novas previsões legais, com a descentralização de órgãos responsáveis pelo monitoramento e autorização de queimadas (ver Lei Complementar 140), assim como por alterações nas exigências em relação às permissões de queima para a agricultura familiar.

Aliado a este complexo cenário socioeconômico e às dificuldades relacionadas a procedimentos burocráticos, os limitados recursos financeiros e humanos disponíveis para gestão das Unidades de Conservação do Brasil representam grandes gargalos para a implementação de novas ações de manejo, havendo limitada capacidade de apoio institucional para iniciativas colaborativas, como por exemplo, o Manejo do Fogo de Base Comunitária. (BEATTY, 2013a). Entretanto, a própria proposta de manejo integrado do fogo já vem com a premissa de implementar um manejo adaptativo, que considera a capacidade institucional local para então considerar as possibilidades e práticas a ser implementadas, não aceitando a aplicação de “receitas” externas. E o desafio para o manejo integrado no fogo no Brasil é justamente a sua implementação considerando os limitados recursos disponíveis.

Para um bioma como o Cerrado, onde o fogo representa ferramenta primordial em atividades de sustento de tantas famílias, diversos são os conflitos gerados com a sobreposição de objetivos de uso da terra, como a proteção da biodiversidade almejada por Unidades de Conservação e a queima de grandes áreas para renovação de pastagens. A insuficiente capacidade de governança que domina boa parte das UCs do país impossibilita um efetivo monitoramento e controle de incêndios, sendo de fato necessário abordagens alternativas para que se supere tamanho desafio.

Da mesma forma, o conhecimento e capacidade técnica dos tomadores de decisão e gestores de áreas protegidas no país se mostra insuficiente para muitas das ações necessárias ao manejo do fogo, o que é compreensível, visto o caráter inovador e pioneiro de tais iniciativas para o país. A experiência do Brasil com queimadas prescritas em escala de paisagem, por exemplo, é ainda muito incipiente. Para as ações piloto do Projeto Cerrado-Jalapão, obteve-se o apoio institucional de especialistas do norte da Austrália que auxiliaram em atividades de coordenação e capacitação, sendo indispensável para execução de queimadas prescritas (BEATTY, 2014b).

Como pode-se perceber, os desafios apresentados até o momento não concernem ao tema específico de manejo do fogo para a redução de emissões de GEE, consistindo em dificuldades de base que são realidade em boa parte do Brasil. Desta forma, aliado a toda complexa condição do país nas esferas política, econômica e social, que dificulta a mudança de paradigma de supressão do fogo para a gestão proativa deste, tem-se os desafios mais específicos para que se alcance o monitoramento e quantificação das emissões resultantes de ações de manejo do fogo no Cerrado.

Quanto aos sistemas de monitoramento, deve-se lembrar que o Brasil é país referência no setor de florestas e desmatamento, sendo inclusive pioneiro em estudos sobre emissões de gases de efeito estufa pela conversão de florestas para uso agrícola (KRUG, 2002). Segundo Krug (2002), o Brasil também é pioneiro na implementação de sistemas operacionais de detecção de incêndios “com base nas imagens do sensor Advanced High Resolution Radiometer (AVHRR) a bordo do satélite em órbita polar National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA).” Entretanto, diversos são os avanços e adaptações necessárias aos sistemas de monitoramento do país para que este possa subsidiar de forma mais satisfatória projetos de manejo do fogo com objetivo de redução de GEE.

Além das melhorias necessárias nos dados obtidos por sensoriamento remoto, um longo caminho ainda tem de ser percorrido para que se estabeleça parâmetros adequados a situação local e metodologias precisas para o cálculo de emissões de GEE. A tabela 5 fornece uma síntese de alguns dos principais desafios a ser enfrentados para que se alcance estimativas mais precisas das emissões resultantes de manejo do fogo no Brasil, de modo a possibilitar experiências similares a do Projeto referência na Austrália (WALFA Project).

**Tabela 5.** Alguns dos principais desafios relacionados ao monitoramento e obtenção de dados para o desenvolvimento de estimativas confiáveis de emissão de GEE resultantes de manejo do fogo.

<b>Desafio</b>	<b>Causas e observações</b>
Estabelecimento de linhas de base de longo período (mais de 10 anos)	Reduzida disponibilidade de dados do passado.
Desenvolvimento de mapas de carga de combustível	Requer validação de campo, a qual já está em andamento.
Mapas com considerável grau de incerteza sobre área queimada	Eventual indisponibilidade de dados para alguns períodos do ano ou para focos menores de fogo, assim como cobertura de nuvens, causando consideráveis erros de interpretação/omissão. Utilização de imagens de mais alta resolução (ex: RapidEye) já estão auxiliando tal desafio.
Incertezas relacionadas a biomassa queimada	Originadas por erros de precisão ou detecção insuficiente (ex: fogos de baixa intensidade, cobertura de nuvens) do sensor MODIS, assim como na conversão de Energia Radioativa do Fogo (Fire Radiative Energy - FRE) para biomassa queimada.
Definição de fatores de emissão	Utiliza-se fatores de emissão padrão, de literatura disponível. O estabelecimento de fatores de emissão adaptados às condições locais é um grande desafio, visto que muitas são as incertezas associadas a estes fatores, os quais dependem de diversas outras variáveis (ex: eficiência de combustão, características do combustível, condições climáticas, etc).
Melhoria nos dados de fogo ativo	INPE está trabalhando para prover Detecções Ativas de Incêndio de alta resolução. Utilização de dados de outros sensores e satélites é necessária para melhorar monitoramento. Tais melhorias já estão sendo providenciadas (incorporação de dados do satélite alemão FireBird, por exemplo).
Calibração de índice meteorológico (Fire Weather Index)	Atualmente utiliza-se o Fire Weather Index (FWI) criado no Canadá, sendo necessário obtenção dados sobre fatores climáticos e meteorológicos relacionados ao fogo na região para que se adapte o índice às condições locais.

**Fonte:** Informações extraídas e adaptadas de relatórios da experiência do Projeto Cerrado-Jalapão (Rücker, 2015; BEATTY, 2014b)

Para todos desafios listados na tabela 5, já se tem ações previstas ou em andamento para que incertezas sejam reduzidas e problemas superados. Estas ações estão ocorrendo de forma colaborativa entre diversas instituições, como INPE, ICMBio, órgãos da esfera estadual, Universidades (como UnB e UFT), consultores internacionais (RSS, ZEBRIS, 123Fire, etc), entre muitos outros.

De forma independente ao Projeto Cerrado Jalapão, outros grupos também estão trabalhando no desenvolvimento de metodologias para monitoramento de queimadas, com o desenvolvimento de estudos consistentes (ARAÚJO; FERREIRA JUNIOR, 2011; ARAÚJO, 2010, SANTOS et al., 2014). O trabalho desenvolvido por Araújo (2010) realizou análises para obter mapeamento da área total queimada em todo bioma Cerrado entre os anos de 2002

e 2008, através do uso de produtos do sensor MODIS, os quais foram validados por imagens LANDSAT TM, com o cruzamento de informações de classes de uso e vegetação do bioma Cerrado. De modo similar ao trabalho desenvolvido por Araújo (2010), Santos et al. (2014), analisou a distribuição de focos de queimada no bioma cerrado através de outros produtos do sensor MODIS, em um horizonte temporal ainda maior (2002 a 2012). Conclui que o número de focos pode variar amplamente de um ano para o outro, e obteve uma média para todos os anos de estudo de aproximadamente 14.000 focos de queimada em toda área do bioma Cerrado.

Estudos como os supracitados são extramamente valiosos para a tomada de decisão em relação à queimadas, incêndios e manejo do fogo no bioma Cerrado, demonstrando a importância das ferramentas de sensoriamento remoto e produtos associados para o desenvolvimento do tema no país. Novos estudos como estes devem ser conduzidos para melhor subsidiar o planejamento relacionado ao manejo do fogo, havendo a necessidade de desenvolvimento de mapas com maior variação espacial, incluindo mapeamentos de biomassa que considerem variações de fitofisionomias, entre outros refinamentos.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As experiências com Manejo do Fogo em savanas têm se difundido de modo desigual entre as diversas realidades que acompanham este amplo ecossistema pelo mundo afora. Enquanto savanas de alguns países da África e Austrália já possuem experiências concretas de gestão proativa do fogo, o Brasil ainda se mostra em fase inicial, avançando timidamente nas discussões sobre o tema.

Para que o medo e a visão distorcida associada ao fogo no país seja superada, deve-se unir esforços para ampliar a atenção voltada ao tema, de modo a conscientizar uma maior parcela da população e de tomadores de decisão sobre a importância do fogo para a manutenção da diversidade ecológica e dos serviços ecossistêmicos de savanas como o Cerrado. Com uma abordagem ainda predominantemente de combate ao fogo, o tema de manejo do fogo para redução de GEE se mostra ainda muito avançado para o Brasil, sendo necessário que estratégias claras e bem definidas de manejo do fogo sejam debatidas no âmbito das legislações e políticas que se ocupam da gestão das Unidades de Conservação do país. Tal tema também deve ser melhor discutido à nível de bacia hidrográfica, devendo-se considerar a inclusão de abordagens de manejo do fogo em planos de manejo de bacias hidrográficas, trazendo a noção de mosaicos e zoneamento que é necessária para as heterogêneas paisagens que podem ser encontradas em uma mesma bacia de diferentes escalas, como é o caso de vegetações pirofíticas e sensíveis ao fogo coexistindo lado a lado. Uma visão que considera as peculiaridades e demandas da paisagem de forma mais ampla pode contribuir para a manutenção da biodiversidade de ecossistemas tão heterogêneos como o Cerrado.

Enquanto isso, pesquisas relacionadas a todos aspectos do fogo e seus impactos em savanas devem continuar sendo desenvolvidas em todo mundo, de modo a continuar subsidiando as discussões, práticas e metodologias de monitoramento associadas ao manejo do fogo. É imperativo que mais pesquisas investiguem regimes de fogo, de modo a identificar as práticas mais adequadas para cada região e fisionomia deste complexo ecossistema. Para tal, os conhecimentos tradicionais dos povos que habitam as regiões de savanas podem continuar trazendo contribuições valiosas.

Ademais, pesquisas de longo prazo sobre os impactos do fogo nos balanços de carbono devem ser estimuladas, tendo em vista sua contribuição direta para o entendimento do papel de savanas nas atuais mudanças climáticas. E é neste mesmo cenário de mudanças

climáticas que um maior desenvolvimento de iniciativas que contribuam para a redução de gases de efeito estufa se justificam. No caso do Brasil, o qual contribui para as emissões de GEE principalmente devido a mudanças no uso da terra, queimadas e desmatamento, o manejo do fogo no Cerrado para a redução de emissões se mostra como uma ferramenta primordial de abatimento de emissões nacionais. Com novos compromissos e tratados internacionais sobre emissões antrópicas sendo cada vez mais estabelecidos entre as nações do mundo, percebe-se a crescente importância do desenvolvimento do manejo do fogo no Cerrado para a redução de GEE.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABORIGINAL & TORRES STRAIT ISLANDER SOCIAL JUSTICE COMMISSIONER. **Native Title Report 2007: Report of the Aboriginal & Torres Strait Islander Social Justice Commissioner to the Attorney-General as required by section 209 Native Title Act 1993**, prepared by Human Rights and Equal Opportunity Commission. Report No. 2/2008. Australia.

ANDERSEN, A. N. et al. **Fire in tropical savannas: the Kapalga experiment**. Springer Science & Business Media, 2003.

AQUINO, F. G. et al. Evolução histórica do conceito de savana e a sua relação com o Cerrado brasileiro. **ComCiência**, n. 105, p. 0-0, 2009.

ARAÚJO, Fernando Moreira de et al. **Mapeamento de áreas queimadas no bioma cerrado a partir de dados MODIS MCD45A1**. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás, UFT. 2010.

ARAÚJO, F. M.; FERREIRA JUNIOR, L. G. Validação do produto MODIS MCD45A1 área queimada utilizando imagens LANDSAT TM para o bioma Cerrado. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 6410-6417, 2011.

AZEVEDO, R. G. et al. Análise das principais espécies químicas liberadas durante a combustão de biomassa. 2005. Unesp.

BARBOSA, R. I.; FEARNSIDE, P. M. Incêndios na Amazônia brasileira: estimativa da emissão de gases do efeito estufa pela queima de diferentes ecossistemas de Roraima na passagem do evento “El Niño” (1997/98). **Acta Amazonica**, v. 29, n. 4, p. 513-534, 1999.

BARBOSA, R. I. 2001. **Savanas da Amazônia: emissão de gases do efeito estufa e material particulado pela queima e decomposição da biomassa acima do solo, sem a troca do uso da terra, em Roraima, Brasil**. Tese de Doutorado em Ecologia. Universidade do Amazonas. Roraima, Brasil, 2001.

BEATTY, R. **Estado do Tocantins. Manejo Integrado do Fogo – Situação atual, estratégia e recomendações piloto.** Governo do Estado do Tocantins. 2013a.

BEATTY, R. **Áreas Protegidas do Cerrado Brasileiro. Manejo Integrado do Fogo – Situação, estratégia e recomendações.** 321Fire. 2013b.

BEATTY, R. Projeto de Cooperação Brasil-Alemanha “Prevenção, Controle e Monitoramento de incêndios florestais no Cerrado”. Programas Piloto de Manejo Integrado do Fogo. Relatório de Planejamento e Implementação. Agosto 2014a.

BEATTY, R. Projeto de Cooperação Brasil-Alemanha “Prevenção, Controle e Monitoramento de incêndios florestais no Cerrado”. Programas Piloto de Manejo Integrado do Fogo. Avaliação – Relatório II. Dezembro 2014b.

BRASIL; Ministério da Ciência e Tecnologia (MCTI). **Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Informações Gerais e Valores Preliminares (30 de novembro de 2009).** 2009.

BRASIL, Ministério Do Meio Ambiente (MMA). **Projetos de Apoio ao PPCerrado.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/florestas/controle-e-preven%C3%A7%C3%A3o-do-desmatamento/plano-de-a%C3%A7%C3%A3o-para-cerrado-%E2%80%93-ppcerrado/projetos-de-apoio-ao-ppcerrado>>. Acesso em: 15 nov. 2015.

BERINGER, J. et al. Fire in Australian savannas: from leaf to landscape. **Global change Biology**, v. 21, n. 1, p. 62-81, 2015.

BRADSTOCK, R. et al. Malcolm (Ed.). **Flammable Australia: the fire regimes and biodiversity of a continent.** Cambridge University Press, 2002.

BUSTAMANTE, M. M. C. et al. **Nitrogen cycling in tropical and temperate savannas.** In: Nitrogen Cycling in the Americas: Natural and Anthropogenic Influences and Controls. Springer Netherlands, 2006. p. 209-237.



COLE, J. 2001 **Biomass Burning: Feature Articles**. NASA – Earth Observatory. Disponível em: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/BiomassBurning/>. Acesso: 21 de maio 2015.

COMMONWEALTH OF AUSTRALIA. **Australia's Third National Communication on Climate Change: A Report under the United Nations Framework Convention on Climate Change**, preparado por Commonwealth of Australia, Canberra. 2002.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil). **Resolução CONAMA nº 11, de 14 de dezembro de 1988**. Publicada no DOU de 11 de agosto de 1989, Seção 1, página 13661.

COUTINHO, L. M. Aspectos ecológicos do fogo no cerrado II - As queimadas e a dispersão de sementes em algumas espécies anemocóricas do estrato herbáceo-subarbustivo. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo**, p. 57-63, 1977.

DIAS, B. F. S.; MIRANDA, H. S. **O Projeto fogo. Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado: resultados do Projeto Fogo**. Brasília-DF: IBAMA/MMA, p. 15-22, 2010.

DYER R. et al. In: JACKLYN, P. et al.: *Savanna burning: understanding and using fire in northern Australia*. Darwin, Australia: Tropical Savannas CRC, 2001.

EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. **The Botanical Review**, v. 38, n. 2, p. 201-341, 1972.

GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH); Banco Alemão para o Desenvolvimento (KfW); Ministério do Meio Ambiente (BR). **Prevention, Control and Monitoring of Bushfires in the Cerrado**. Factsheet, 2015.

GOEDERT, W. et al. **Savanas tropicais: dimensão, histórico e perspectivas**. In: FALEIRO, F. G. et al. Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, p. 49-80, 2008.

HOFFMANN, A. A. Prevention, control and monitoring of bush fires in the Cerrado. Primeiro relatório. Setembro 2012a.

HOFFMANN, A. A. Prevention, control and monitoring of bush fires in the Cerrado: Visit to Tocantins and Jalapão. Segundo relatório de consultoria. Dezembro 2012b.

IBGE. **Mapa de biomas do Brasil. Escala 1:5.000.000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.html>> Acesso em: 3 de novembro de 2015.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Greenhouse Gas Inventory Reporting Instructions**. Reference Manual (Volume 3) CAPITULO 5. OECD, 1997.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2007. **AR4 Synthesis Report**. 2007.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **2006 Guidelines for national greenhouse gas inventories**. Overview. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html> Acesso em 18 de nov. 2015.

KRUG, T. et al. **Emissões de gases de efeito estufa da queima de biomassa no Cerrado nao-antrópico utilizando dados orbitais**. Ministério da Ciência e Tecnologia, 2002.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.

MAIA, J. M. F. **Balanco de energia e fluxo de carbono em uma área de cerrado que sofreu queima acidental**. 2003. Tese de Doutorado. Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília. Brasília, DF.

MARENGO, J. A. O Quarto Relatório do IPCC (IPCC ARr4) e projeções de mudança de clima para o Brasil e América do sul. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, p. 23, 2007.

MIRANDA, A. C. et al. Carbon dioxide fluxes over a cerrado sensu stricto in central Brazil. **Amazonian deforestation and climate**, v. 1, 1996.

MIRANDA, M. I.; KLINK, C. A. **Colonização de campo sujo de cerrado com diferentes regimes de queima pela gramínea *Echinolaena inflexa* (Poaceae). Impactos de queimadas em áreas de Cerrado e de Restinga**. Brasília: Universidade de Brasília, p. 46-52, 1996.

MIRANDA, H. S. et al. **The fire factor**. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. *The Cerrados of Brazil. Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*, p. 51-68, 2002.

MIRANDA, H. S. et al. **Fires in the Cerrado, the brazilian savanna**. In: COCHRANE, M. *Tropical fire ecology: climate change, land use and ecosystem dynamics*. Springer Science & Business Media, 2009.

MIRANDA, S.C. **Variação espacial e temporal da biomassa vegetal em áreas de Cerrado**. 2012. Tese de Doutorado. Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília. Brasília, DF.

MISTRY, J. Savannas. **Progress in Physical Geography**, v. 24, n. 4, p. 601-608, 2000.

OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. **The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna**. Columbia University Press, 2002.

MONTEIRO, J. M. G. **Fluxos de CO<sub>2</sub> em um cerrado *sensu stricto***. 1995. Dissertação de Mestrado. Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília. Brasília, DF.

MOTT, J. J. et al. Australian savanna ecosystems. **Ecology and management of the world's savannas**, p. 56-82, 1985. PANDEY, K.; SAHU, L. K. Emissions of volatile organic

compounds from biomass burning sources and their ozone formation potential over India. **Current Science**, v. 106, n. 9, p. 1270, 2014.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

NAILSMA (North Australian Indigenous Land and Sea Management Alliance). **WALFA – West Arnhem Land Fire Abatement project**. Disponível em: <<http://www.nailsma.org.au/walfa-west-arnhem-land-fire-abatement-project>> Acesso em: 30 maio 2015.

PAUSAS, J. G.; KEELEY, J. E. A burning story: the role of fire in the history of life. **BioScience**, v. 59, n. 7, p. 593-601, 2009.

PIVELLO, V. R et al. FIRETOOL: an expert system for the use of prescribed fires in Brazilian savannas. **Journal of Applied Ecology**, p. 348-356, 1996.

PRICE, O. F. et al. The influence of prescribed fire on the extent of wildfire in savanna landscapes of western Arnhem Land, Australia. **International Journal of Wildland Fire**, v. 21, n. 3, p. 297-305, 2012.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T., 1998. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Cerrado: ambiente e flora. S. M Sano & S. P. de Almeida (eds.). EMBRAPA-CPAC. Planaltina. p.89-168.

RICHARDS, A. E. et al. Optimal fire regimes for soil carbon storage in tropical savannas of northern Australia. **Ecosystems**, v. 14, n. 3, p. 503-518, 2011.

RUCKER, G. **Fire monitoring and modelling of emissions from fires. Results for pilot areas in 2014 and recommended next steps**. ZEBRIS GbR. Janeiro de 2015.

RUSSELL-SMITH, J. et al. Contemporary fire regimes of northern Australia, 1997–2001: change since Aboriginal occupancy, challenges for sustainable management. **International Journal of Wildland Fire**, v. 12, n. 4, p. 283-297, 2003.

RUSSELL-SMITH, J. et al. Managing fire regimes in north Australian savannas: applying Aboriginal approaches to contemporary global problems. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 11, n. s1, p. e55-e63, 2013a

RUSSELL-SMITH, J. et al. Can savanna burning projects deliver measurable greenhouse emissions reductions and sustainable livelihood opportunities in fire-prone settings? **Climatic Change**, p. 1-15, 2013b

RUSSELL-SMITH, J. et al. Developing a savanna burning emissions abatement methodology for tussock grasslands in high rainfall regions of northern Australia. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v. 2, n. 2, p. 175-187, 2014.

SANO, E. E. et al. Mapeamento de cobertura vegetal do bioma Cerrado. **Planaltina: Embrapa Cerrados**, 2008.

SATO, M. N. & MIRANDA, H. S. 1996. **Mortalidade de plantas lenhosas do cerrado sensu stricto submetida a diferentes regimes de queima**. In: Anais do Simpósio Impacto das Queimadas sobre os Ecossistemas e Mudanças Globais. 3º Congresso de Ecologia do Brasil, 6 a 11 de outubro de 1996. Brasília-DF.

SANTOS, A. J. B. **Fluxos de energia, carbono e água em vegetação de campo sujo**. 1999. Tese de Doutorado. Instituto de Ciências Biológicas. Universidade de Brasília, Brasília, DF.

SANTOS, P. R. et al. Análise da distribuição espacial dos focos de queimadas para o bioma Cerrado (2002-2012). **Caderno de Geografia**, v. 24, n. 1, p. 133-142, 2014.

SEILER, W.; CRUTZEN, P. J. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. **Climatic Change**, v. 2, n. 3, p. 207-247, 1980.

SHLISKY, A. et al. *Overview: Global fire regime conditions, threats, and opportunities for fire management in the tropics*. In: Tropical Fire Ecology. Springer Berlin Heidelberg, 2009. p. 65-83.

SILVA et al. 1996. Moratlidade de plantas lenhosas em campo-sujo submetido a queimadas prescritas. In: Anais do Simpósio Impacto das Queimadas sobre os Ecossistemas e Mudanças Globais. 3º Congresso de Ecologia do Brasil, 6 a 11 de outubro de 1996. Brasília-DF

SILVA, G. T. **Fluxos de CO<sub>2</sub> em um campo sujo submetido à queimada prescrita.** 1999. 64 f. 1999. Dissertação de Mestrado em Ecologia. Instituto de Ciências Biológicas. Universidade de Brasília, Brasília.1999.

SOLOMON, S. (Ed.). **Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC.** Cambridge University Press, 2007.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). **Causes of Climate Change.** Disponível em: <<http://www.epa.gov/climatechange/science/causes.html>>. Acesso: 21 maio 2015.

WALTER, B. M. T. *Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas.* 2006. Tese (Doutorado em Ecologia). Instituto Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasília. 2006.

WILLIAMS, R.; COOK, G. In: JACKLYN, P. et al.: Savanna burning: understanding and using fire in northern Australia. Darwin, Australia: Tropical Savannas CRC, 2001.